

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-334525

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 9/00

C 1 1 B 9/00

G 0 1 B 21/30

C 0 1 B 21/30

Z

G 0 1 N 37/00

C 0 1 N 37/00

F

G 1 1 B 9/02

C 1 1 B 9/02

審査請求 未請求 請求項の数48 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願平9-216852

(71) 出願人 000002185

(22) 出願日 平成9年(1997)8月11日

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(31) 優先権主張番号 特願平8-340161

(72) 発明者 藤原 一郎

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(32) 優先日 平8(1996)12月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(31) 優先権主張番号 特願平9-85000

(32) 優先日 平9(1997)4月3日

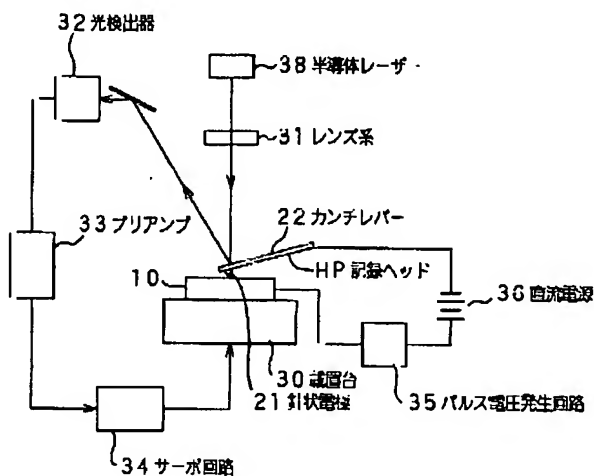
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(54) 【発明の名称】 記録及び／又は再生方法、記録及び／又は再生装置

(57) 【要約】

【課題】 光記録や磁気記録を上回る高密度記録が実現可能で、しかも記録速度や再生速度を大幅に改善することが可能な記録方法、再生方法、さらには記録再生方法を提供する。

【解決手段】 複数配列された針状電極にそれぞれ電圧を印加し、記録媒体の各針状電極に対応した所定領域において電荷移動または自発分極の反転を起こし、情報を並列に記録する。また、電荷移動または自発分極の反転により情報が記録された記録媒体に対し、複数配列された針状電極を非接触状態で相対移動させ、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化を各針状電極により検出し、情報を並列に再生する。情報の再生は記録媒体に対して非接触な状態で行うことが望ましい。記録媒体には、キャリアトラップを有する記録媒体、自発分極を有する記録媒体を使用する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 複数配列された針状電極にそれぞれ電圧を印加し、記録媒体の各針状電極に対応した所定領域において電荷移動または自発分極の反転を起こし、複数の記録ビットを並列に記録することを特徴とする記録方法。

【請求項2】 上記各記録ビットに3値以上の情報を記録することを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項3】 上記各針状電極に印加する電圧を20V以下とし、上記記録媒体における単位記録領域を直径100nm以下とすることを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項4】 上記各針状電極において、各単位記録領域の記録時間を1μ秒以下とすることを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項5】 上記各針状電極を上記記録媒体に接触させ、記録ビットの記録を行うことを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項6】 上記各針状電極を固定し、上記記録媒体を回転または往復動させることにより、記録ビットの記録を行うことを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項7】 上記記録媒体は、キャリアトラップを有することを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項8】 上記記録媒体は、誘電体ヘテロ層を有することを特徴とする請求項7記載の記録方法。

【請求項9】 上記記録媒体は、2層以上の誘電体ヘテロ層を有し、ヘテロ界面を有することを特徴とする請求項8記載の記録方法。

【請求項10】 上記記録媒体は、導電性シリコン基体上に酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化シリコン膜が順次成膜されたものであることを特徴とする請求項9記載の記録方法。

【請求項11】 上記記録媒体は、自発分極を有することを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項12】 上記記録媒体は、強誘電体材料の薄膜を有することを特徴とする請求項11記載の記録方法。

【請求項13】 上記強誘電体材料は、ジルコン酸チタン酸鉛、ビスマス層状化合物、高分子強誘電体材料から選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項12記載の記録方法。

【請求項14】 上記記録媒体は、少なくともトンネル絶縁膜と、絶縁膜中にナノ結晶が埋め込まれてなるナノ結晶層を有する電荷蓄積層を有することを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項15】 上記記録媒体は、最上層に保護層を有することを特徴とする請求項1記載の記録方法。

【請求項16】 電荷移動または自発分極の反転により情報が記録された記録媒体に対し、複数配列された針状電極を相対移動させ、  
上記記録媒体における電荷、表面電位または静電容量の

変化を各針状電極により検出し、複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とする再生方法。

【請求項17】 各針状電極により各記録ビットに記録された3値以上の情報を再生することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項18】 各針状電極を固定し、上記記録媒体を回転または往復動させることにより、記録ビットの再生を行うことを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項19】 各針状電極が記録媒体と非接触の状態で複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項20】 上記記録媒体における電荷、表面電位または静電容量の変化量をヘテロダイン法により検出することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項21】 上記記録媒体における電荷、表面電位または静電容量の変化量を、針状電極の共振周波数の周波数、位相、振幅の変化量として検出することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項22】 上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化を針状電極の微小変位により検出し、記録ビットを再生することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項23】 上記針状電極の微小変位を、光てこ方式により検出することを特徴とする請求項22記載の再生方法。

【請求項24】 上記針状電極の微小変位を、圧電材料により検出することを特徴とする請求項22記載の再生方法。

【請求項25】 上記各針状電極において、各単位記録領域の再生時間を1μ秒とすることを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項26】 上記記録媒体は、キャリアトラップを有することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項27】 上記記録媒体は、誘電体ヘテロ層を有することを特徴とする請求項26記載の再生方法。

【請求項28】 上記記録媒体は、2層以上の誘電体ヘテロ層を有し、ヘテロ界面を有することを特徴とする請求項27記載の再生方法。

【請求項29】 上記記録媒体は、導電性シリコン基体上に酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化シリコン膜が順次成膜されたものであることを特徴とする請求項28記載の再生方法。

【請求項30】 上記記録媒体は、自発分極を有することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項31】 上記記録媒体は、強誘電体材料の薄膜を有することを特徴とする請求項30記載の再生方法。

【請求項32】 上記強誘電体材料は、ジルコン酸チタン酸鉛、ビスマス層状化合物、高分子強誘電体材料から選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項31記載の再生方法。

【請求項33】 上記記録媒体は、少なくともトンネル絶縁膜と、絶縁膜中にナノ結晶が埋め込まれてなるナノ結晶層を有する電荷蓄積層を有することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項34】 上記記録媒体は、最上層に保護層を有することを特徴とする請求項16記載の再生方法。

【請求項35】 複数配列された針状電極にそれぞれ電圧を印加し、記録媒体の各針状電極に対応した所定領域において電荷移動または自発分極の反転を起こし、複数の記録ビットを並列に記録するとともに、この電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録された記録媒体に対し、複数配列された針状電極を相対移動させ、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化を各針状電極により検出し、複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とする記録再生方法。

【請求項36】 上記各記録ビットに3値以上の情報を記録するとともに、各記録ビットに記録された3値以上の情報を再生することを特徴とする請求項35記載の記録再生方法。

【請求項37】 上記針状電極が記録媒体と非接触の状態では複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とする請求項36記載の記録再生方法。

【請求項38】 それぞれ電圧が印加される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記複数配列された針状電極により、上記記録媒体に複数の記録ビットが並列に記録されることを特徴とする記録装置。

【請求項39】 上記各記録ビットは、3値以上の情報を有することを特徴とする請求項38記載の記録装置。

【請求項40】 記録媒体に対して相対移動される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極により検出され、複数の記録ビットが並列に再生されることを特徴とする再生装置。

【請求項41】 上記各針状電極が記録媒体に対して非接触の状態では相対移動されることを特徴とする請求項40記載の再生装置。

【請求項42】 上記各記録ビットは、3値以上の情報を有することを特徴とする請求項40記載の再生装置。

【請求項43】 記録媒体に対して相対移動される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記複数配列された針状電極により上記記録媒体に複数の記録ビットが並列に記録されるとともに、

上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極により検出され、複数の記録ビットが並列に再生されることを特徴とする記録再生装置。

【請求項44】 上記針状電極が記録媒体に対して非接触の状態では相対移動し、複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とする請求項43記載の記録再生装置。

【請求項45】 上記各記録ビットは、3値以上の情報を有することを特徴とする請求項43記載の記録再生装置。

【請求項46】 記録媒体に対して相対移動される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記複数配列された針状電極により上記記録媒体に複数の記録ビットが並列に記録されるとともに、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極により検出され、複数の記録ビットが並列に再生される記録再生装置を中央処理装置の外部記憶装置とし、これら中央演算装置と記録再生装置の間にバッファとなるキャッシュメモリが設けられていることを特徴とするデータ処理装置。

【請求項47】 上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極を記録媒体に対して非接触状態として検出されることを特徴とする請求項46記載のデータ処理装置。

【請求項48】 上記キャッシュメモリは、上記記録再生装置の針状電極の数に応じて複数の分割されていることを特徴とする請求項46記載のデータ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像情報、大容量のデータ情報等の超高密度記録を行うことができる新規な記録方法、再生方法、記録再生方法に関するものであり、さらには、記録装置、再生装置、記録再生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】マルチメディア社会、特にハイビジョンシステムおよび高度情報通信システム、コンピュータネットワーク、ビデオオンデマンド、インフォメーションオンデマンド等に必要とされる大容量の画像情報、データファイルにおいて、高速な記録、高速な再生に対する要求が益々高まっている。

【0003】従来、ランダムアクセスが可能な高密度記録技術としては、磁気記録、光記録、半導体メモリ等が知られている。

【0004】これらの中で、半導体メモリは、その集積度が年々向上しているにもかかわらず、製造技術、例えばフォトリソグラフィの限界から、高精細度の画像情報を記録するだけの容量を満たすような、例えば少なくとも3Gバイト以上の容量を満たすような半導体メモリを

得るには至っていない。

【0005】一方、光記録や磁気記録において、大容量の情報を記録するには、記録領域をできるだけ小さくして、記録密度を向上させることが必要である。

【0006】これまで、光記録の分野において、その記録領域を小さくする試みが種々なされているが、物理的な限界、すなわち光の回折限界が存在し、たとえ波長500nm付近の半導体レーザー光源が開発された場合でも、記録領域を極端に小さくすることはできない。光記録では、記録ビット（スポットエリア）を記録再生光の波長以下にすることは原理的に不可能である。超解像等、その限界を超える方式も提案されているが、それらの方法を用いても直径100nm以下の記録領域を実現することは難しいとされている。

【0007】また、磁気記録の分野においても、特にハードディスクにおいて、磁気抵抗効果型ヘッド（MRヘッド）や巨大磁気抵抗効果型ヘッド（GMRヘッド）の開発により、記録密度の向上が著しいが、再生ヘッドの感度の限界の問題で、やはり直径100nm以下の記録領域を達成することは難しい。

【0008】このような状況の中、近年、原子、分子にアクセスする手段と種々の記録媒体を用いた高密度メモリの実現可能性の検討がなされている。

【0009】例えば、原子分子レベルの空間分解能を持つ走査トンネル顕微鏡（STM：Scanning Tunneling Microscope）、原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）が開発され、種々の材料の微細表面形状の解析に適用され、微小領域の表面解析装置として非常に成功を収めている。さらに、AFMは、近年、種々の物理的・化学的な相互作用をプローブとして用いた走査型プローブ顕微鏡（SPM：Scanning Probe Microscope）として発展している。

【0010】これらSTMやAFMは、原子、分子にアクセスする手段として有用であり、これまで、STMやAFMを用いた高密度記録実現の試みが報告されている。

【0011】例えば、スタンフォード大学のクエート氏等は、Si基体上にSiO<sub>2</sub>膜およびSiN膜を形成したNOS（SiN/SiO<sub>2</sub>/Si）構造の記録媒体を用いるとともに、AFMの発展系である走査型容量顕微鏡（SCM：Scanning Capacitance Microscope）を用い、高密度メモリへの応用の可能性を示している（Journal of Applied Physics, 70 2725-2733 (1991)）。

【0012】NOS構造の記録媒体では、Si基体とSiO<sub>2</sub>/SiN界面またはSiN膜中のトラップとの間の電荷の移動により記録がなされ、これを静電容量の変化として電気的に読み出す。

【0013】上述のクエート等の研究では、NOS構造の記録媒体に導電性カンチレバーを接触させた状態で記録消去し、同様に導電性カンチレバーを接触させた状態

で記録情報に基づく容量変化を容量センサーを用いて検出することによって再生する、という方法がとられている。

【0014】この方法による場合、現在実用化ないしは研究、開発がなされている光記録、あるいは磁気記録方法では不可能な、微小領域での情報の記録再生、すなわち高密度記録が可能であるとされている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の方法は、実用上の問題が多く、原理的な可能性が述べられているにとどまり、実用化には至っていない。

【0016】なかでも、大きな問題として、記録速度、再生速度が挙げられる。いくら記録容量が大きくても、書き込み速度や読み出し速度が遅くては、ユーザーに受け入れられない。高密度であればあるほど、それに見合った記録速度、再生速度が要求される。

【0017】そして、前述の方法では、1つの記録ビットに対して2値の情報（デジタルデータ）を対応させているため、記録密度は微小記録ビットの大きさに直接的に制限されている。

【0018】また、特に再生を考えた場合、導電性カンチレバーを接触させた状態で容量変化を検出することは、摩擦、摩耗の点で問題が多く、ヘッド先端の劣化により、記録再生特性が劣化するという不都合がある。記録に比べて再生の頻度は大きく、前記摩擦、摩耗は再生時に顕著である。

【0019】そこで本発明は、光記録や磁気記録を上回る高密度記録が実現可能で、しかも記録速度や再生速度を大幅に改善することが可能な記録及び／又は再生方法、記録及び／又は再生装置を提供することを目的とする。

【0020】さらに、摩擦、摩耗による劣化のない記録及び／又は再生方法、記録及び／又は再生装置を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明の記録方法は、複数配列された針状電極にそれぞれ電圧を印加し、記録媒体の各針状電極に対応した所定領域において電荷移動または自発分極の反転を起こし、複数の記録ビットを並列に記録することを特徴とするものである。

【0022】また、本発明の再生方法は、電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録された記録媒体に対し、複数配列された針状電極を相対移動させ、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化を各針状電極により検出し、複数の記録ビットを並列に再生することを特徴とするものである。

【0023】さらに、本発明の記録再生方法は、複数配列された針状電極にそれぞれ電圧を印加し、記録媒体の各針状電極に対応した所定領域において電荷移動または

自発分極の反転を起こし、複数の記録ビットを並列に記録するとともに、この電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録された記録媒体に対し、複数配列された針状電極を相対移動させ、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化を各針状電極により検出し、複数の記録ビットを並列に再生することの特徴とするものである。

【0024】一方、本発明の記録装置は、それぞれ電圧が印加される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記複数配列された針状電極により上記記録媒体に複数の記録ビットが並列に記録されることを特徴とするものである。

【0025】また、本発明の再生装置は、記録媒体に対して相対移動される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極により検出され、複数の記録ビットが並列に再生されることを特徴とするものである。

【0026】さらに、本発明の記録再生装置は、記録媒体に対して相対移動される複数の針状電極と、所定領域における電荷移動または自発分極の反転により複数の記録ビットが記録される記録媒体とを有し、上記複数配列された針状電極により上記記録媒体に複数の記録ビットが並列に記録されるとともに、上記記録媒体における表面電位または静電容量の変化が各針状電極により検出され、複数の記録ビットが並列に再生されることを特徴とするものである。

【0027】本発明は、針状電極を有する記録再生手段（いわゆるヘッド）により記録ビットの記録または再生を行う。すなわち、ヘッドの針状電極から電圧を印加することにより記録媒体の所定領域の電荷移動または自発分極の反転により記録ビットを記録または消去する。記録は、1回だけ書き込む、いわゆるライトワンスであってもよいし、繰り返し書き込みが可能な、いわゆる書き換え可能型であってもよい。

【0028】ここで、記録あるいは再生に際して、複数のヘッド（針状電極）を用いて並列記録または並列再生（並列度を $n$ とする。配列した針状電極の数が並列度に相当する。）を行うというのが大きな特徴である。

【0029】このような並列記録、並列再生を採用することで、記録速度、再生速度は、並列度の分だけ、すなわち $n$ 倍だけ高速化される。

【0030】記録または再生のための針状電極は、Siのマイクロファブリケーション技術、すなわちSi基板をベースにしての3次元エッチング技術を用いて作製するため、Si集積回路作製技術を適用することが可能で、単一のヘッドを複数モノリシックまたはハイブリッドに集積した集積記録・再生ヘッドを作製することがで

きる。

【0031】複数（例えば100個）の記録ヘッドを用いて同時に情報の記録を行うことにより、記録速度が単一のヘッドを用いて記録する場合と比べて100倍となる。また、情報の消去においても、複数の記録ビットの単位ブロックを同時に消去することが可能となり、消去速度も格段に速くすることができる。さらに、情報の再生においても、100個の再生ヘッドを同時に用いることにより、再生速度が単一再生ヘッドと比較して高速となる。

【0032】しかも、その再生においては、ヘッドの針状電極を記録媒体に対して非接触状態とし、所定領域に記録された記録ビットを、この領域における表面電位、電荷または容量の変化量またはそれらの微分を検出することにより行う。

【0033】すなわち、キャリヤトラップを有する記録媒体にキャリヤを局所的に注入、放出することにより情報を記録消去し、微小領域の表面電位、静電容量の微小変化量をヘッド（針状電極）の微小変位として非接触に再生する。

【0034】このように、記録媒体に対してヘッドを非接触の状態で、記録ビットを再生するので、この再生において針状電極ヘッドや記録媒体を損耗させることが回避される。

【0035】また、本発明は、記録ビットに3値以上の情報を記録し、記録ビットに載せられた3値以上の情報を再生してもよい。従来の2値記録と比較して、同一の空間的記録密度で、情報の記録密度を少なくとも1.5倍以上に高めることが可能となる。

【0036】通常、再生ヘッドの微小変位の検出には、半導体レーザ光の反射光の差動検出を基本とした光でこの方式を用いる。この光でこの方式の微小変位の検出方法は、記録または再生ヘッドの並列度が比較的小さい時には集積半導体レーザ光源、集積光検出系を用いることが可能となる。また、集積度が比較的大きい場合には、微小変位の検出に微小変位を直接電気信号量に変換可能な強誘電体を含む材料で記録再生ヘッドを構成することにより、並列度が高い記録再生ヘッドを実現することができる。また、記録時に流れる電流は非常に小さく、一度の多数個の記録を行なった場合であっても、並列記録時に流れる全電流は小さく、並列度が大きい場合であっても、並列記録は全体のデバイス動作上問題にならない。並列度が大きい並列再生の場合も同様である。

【0037】このように、本発明においては、針状電極による電圧印加により記録媒体に対し、電荷移動または自発分極の反転により情報を複数の記録または消去ヘッドを用いて並列に記録または消去する態様をとることから、高速、高密度記録がなされる。また、記録ヘッドの共振周波数を十分大きく（MHzオーダー）、バネ定数を十分小さくすることにより、記録ビットのMHz帯での

高速な再生が可能になる。さらに、MHzオーダの共振周波数を有する複数の再生ヘッドを用いた並列再生により、再生速度はさらに高速になる。

#### 【0038】

【発明の実施の形態】図1は、本発明において用いられる記録媒体10の基本構成を示す。図1(a)に示される記録媒体は、基体11裏面に下部電極12、表面側に情報の記録がなされる活性層13が形成された構成を有する。この活性層13は、電荷の移動を生じる電荷蓄積材料膜によって構成する。

【0039】上記電荷蓄積材料膜は、例えば、 $\text{SiO}_2$ 酸化膜、 $\text{SiN}$ 膜、 $\text{SiO}_2$ 酸化膜が順次積層されて構成され、隣接する異種の層（ヘテロ層）から構成される界面（ヘテロ界面）を有する。

【0040】また、図1(b)に示される記録媒体は、基体11表面に絶縁膜を介して下部電極12、情報の記録がなされる活性層13が形成された構成を有する。この活性層13は強誘電体層（誘電体ヘテロ層）を用いる。

【0041】上記基体11は、上述したSi基体等の半導体基体によって構成することができるものであるが、この基体11が導電率の高い半導体基体である場合、下部電極12の形成を省略することもできる。記録媒体10に対する記録態様によっては、基体11を半導体基体以外の良導電性を有する基体によって構成することができ、この場合においても、下部電極12を省略することができる。

【0042】これら記録媒体10を構成する電荷蓄積材料膜または強誘電体膜は、それぞれ例えば熱酸化法、スパッタリング法、LPCVD (Low Pressure Chemical Deposition) 法、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、分子線蒸着法、通常の蒸着法、レーザアブレーション法、ゾルゲル法、スピコート法などによって成膜することができる。

【0043】記録媒体10に対する情報の記録構成は、基本的には原子間力顕微鏡 (AFM) 構成とする。すなわち、記録ヘッドが、先端に針状電極を有するAFM制御の導電性カンチレバーが複数個並列に集積化した構成とする。

【0044】この電荷蓄積材料膜による記録媒体10に対する記録は、記録ヘッドとしての針状電極を先端に有する導電性カンチレバーに記録電圧 $V_R$ が $|V_R| < 20\text{V}$ の記録電圧、例えば9Vのパルス電圧を印加することによりカンチレバーに形成された針状電極より電子を局所的に $\text{SiN}$ 膜付近 ( $\text{SiN}/\text{SiO}_2$ 界面、及び $\text{SiN}$ 膜中) に存在するキャリアトラップに注入または放出し、この電荷の移動によって情報の記録を行う。

【0045】そして、この局所的に電荷が注入または放出された領域に対し、所要の電圧、例えば9V程度のパルス電圧を印加することにより電子を放出または注入し

て $\text{SiN}$ 膜付近 ( $\text{SiN}/\text{SiO}_2$ 界面、及び $\text{SiN}$ 膜中) のトラップの電荷が注入または放出された領域を元に戻し、記録情報の消去を行う。このように、記録消去動作は、複数のヘッド（針状電極）により同時並列に行われる。

【0046】また、この記録態様によれば、先に記録された情報の上に新しい情報の書換え記録を行う、いわゆるオーバーライトが可能であり、このオーバーライトに当たって先の記録の消去過程を必要としない。

【0047】一方、その記録情報の読み出しすなわち再生は、上述の記録媒体への電荷の注入領域と、非注入領域とでの針状電極ヘッドすなわちカンチレバーとのクーロン相互作用の相違を利用することによって行う。すなわち、局所的な表面電位を計測することにより、電荷が注入されている領域と非注入領域との静電容量の変化量として、記録された情報を針状電極ヘッドで検出することによって記録情報の再生を行う。このように、再生動作は、複数のヘッド（針状電極）により並列に行われる。

【0048】以上、上述したように、並列記録、並列再生を採用することで、記録速度、再生速度は、並列度の分だけ高速化される。

【0049】また、記録または再生ヘッドはSiのマイクロファブリケーション技術すなわちSi基板をベースにした3次元エッチング技術を用いて作製するため、Si集積回路作製技術を適用することが可能で、単一のヘッドを複数モノリシックまたはハイブリッドに集積した集積記録、再生ヘッドを作製することができる。ここで、複数（例えば100個）の記録ヘッドを用いて同時に情報の記録を行うことにより、記録速度が従来と比べて100倍となる。また、情報の消去においても複数の記録ビットの単位ブロックを同時に消去することが可能となり、消去速度を従来と比較して格段に速くすることができる。さらに、情報の再生においても100個の再生ヘッドを同時に用いることにより再生速度が単一再生ヘッドと比較してさらに高速となる。

【0050】上述したように、記録および消去には20V以下の動作電圧でよいが、更に記録媒体の材料、膜厚等の最適化によって10V以下とすることができる。また、キャリアがトンネルする $\text{SiO}_2$ の膜厚を薄くすることにより、電荷蓄積材料膜のキャリアの注入に必要な時間を $1\mu\text{s}$ とすることができる。したがって、記録ヘッドの並列度100の場合、1ビット当たりの記録時間を10nsとすることができる。更に、表面電位変化の高速検出もでき、1MHz以上の高速再生ができる。

【0051】したがって、再生ヘッドの並列度100の場合、1ビット当たりの再生はさらに高速にすることができる。また、再生ヘッド先端形状の極率半径を小さくすることにより、記録領域の直径を50nm~100nm程度とすることができ、通常の再生ヘッドを用いた場



合よりさらに高密度記録領域での記録、消去および再生ができる。

【0052】しかも、その再生においては、ヘッドの針状電極を記録媒体に対して非接触状態とし、所定領域に記録された記録ビットを、この領域における表面電位、電荷または容量の変化量またはそれらの微分を検出することにより行う。

【0053】すなわち、キャリアトラップを有する記録媒体にキャリアを局所的に注入、放出することにより情報を記録消去し、微小領域の表面電位、静電容量の微小変化量をヘッド（針状電極）の微小変位として非接触に再生する。

【0054】このように、記録媒体に対してヘッドを非接触の状態、記録ビットを再生するので、この再生において針状電極ヘッドや記録媒体を損耗させることが回避される。

【0055】また、この記録態様によれば、1ビット当たり3値以上の情報を記録することも可能である。

【0056】この単一のヘッドを用いた記録態様によれば、別の記録された情報を記録する場合、9Vの電圧パルスを加えることにより表面電位を周囲より高くして記録する。このようにして、同一の記録領域（記録ビット）に、3値の情報を記録することができる。

【0057】また、単一ヘッドを用いた5値記録を行う場合は、その表面電位の値を、それぞれ例えば以下のように分割選定することができる。

【0058】情報“0”の記録は、その記録部における表面電位が $-40\text{ mV}$ 以下、情報“1”の記録は、その記録部における表面電位が $-35\sim-15\text{ mV}$ 、情報“2”の記録は、その記録部における表面電位が $-10\sim+10\text{ mV}$ 、情報“3”の記録は、その記録部における表面電位が $+15\sim+35\text{ mV}$ 、情報“4”の記録は、その記録部における表面電位が $40\text{ mV}$ 以上。

【0059】単一ヘッドを用いた情報の書き込みは、プラスマイナス10Vまたはプラスマイナス6Vの電圧パルスの印加で行って、多値記録が可能な表面電位の値を制御した。

【0060】一方、強誘電体記録メディアを用いる場合、記録媒体は、導電性を有するSi基板上にオーミック電極、及びビスマス層状化合物強誘電体膜（BST）、またはジルコン酸チタン酸鉛（PZT）を成膜することによって構成する。この強誘電体膜による記録媒体10に対する記録は、記録ヘッドとしての針状電極を先端に有する導電性カンチレバーに記録電圧 $V_R$ が $|V_R| < 10\text{ V}$ の、例えば負電圧の5Vのパルス電圧を印加することによりビスマス層状化合物強誘電体膜の自発分極の向きを局所的に反転させ、この自発分極の反転によって情報の記録を行う。並列記録の場合、集積した記録ヘッドを用いてこの操作を並列に行う。

【0061】そして、この自発分極が反転した領域に対

し、所要の正電圧、例えば9V程度のパルス電圧を印加することにより局所的に反転した自発分極の向きを元に戻して記録情報の消去を行う。消去は複数の記録ビットから構成される単位ブロックの一括消去とする。

【0062】そして、その記録情報の読み出しすなわち再生は、上述の記録媒体の自発分極の反転領域と、非反転領域とでの針状電極ヘッドすなわちカンチレバーとのクーロン相互作用の相違を利用することによって行う。すなわち、局所的な表面電位を計測することにより自発分極が反転した領域と、非反転領域との表面電位、静電容量の変化量として、記録された情報を針状電極ヘッドの非接触状態で検出することによって記録情報の再生を行う。

【0063】集積した再生ヘッドを用いた並列再生の場合、複数の記録ビットの同時並列に再生をおこなう。

【0064】あるいは、記録媒体として、少なくともトンネル絶縁膜と、絶縁膜中にナノ結晶が埋め込まれてなるナノ結晶層を有する電荷蓄積層を有する記録媒体を使用することも可能である。

【0065】この記録媒体は、先の図1に示す記録媒体と同様、導電性基体、例えばシリコン基体に下部電極が被着形成され、これとは反対側に活性層が形成されるものであるが、活性層は、少なくとも例えば $\text{SiO}_2$ を介しての電荷の注入、放出における電荷のトンネルが可能なトンネル絶縁膜を有し、例えば半導体のSiのナノ結晶が $\text{SiO}_2$ 等の絶縁膜中に埋め込まれ、ナノ結晶層を有する電荷蓄積層を有してなる。

【0066】この $\text{SiO}_2$ 膜によるトンネル膜は、ナノ結晶が埋め込まれたナノ結晶層を挟んでその上下に形成することができ、ナノ結晶粒と、さらにナノ結晶粒とトンネル膜、もしくはナノ結晶粒を埋め込む $\text{SiO}_2$ 膜との界面において高密度に電荷のトラップを形成するヘテロ界面を形成させることができる。

【0067】ここで、絶縁膜中に埋め込まれたナノ結晶は、空間的に離散化されてかつ伝導帯端からエネルギーレベルの深いキャリアトラップになっている。そのサイズは、直径10nm以下、その間の距離は5～10nmである。このような場合、キャリア（電子）が記録ヘッドと記録媒体のSi基体との間に印加された強電界によりSi基体側または記録ヘッド側から例えば $\text{SiO}_2$ 膜によるトンネル絶縁膜をトンネルして空間的に離散化されたキャリアトラップに注入されることにより情報の記録がなされる。

【0068】この注入される電子の方向は、キャリアトラップとSi基体、記録ヘッドとの間のトンネル絶縁膜の厚さ、および記録ヘッドでの記録時の表面電界集中の大きさなどに依存している。キャリアトラップの密度は、 $5 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ である。また、一つのキャリアトラップには複数の電子をトラップすることができる。

【0069】一方、キャリア（電子）が記録ヘッドと記録媒体のSi基体との間に記録の場合とは逆の極性の強電界を印加することにより、トラップに注入されていた電子を放出することにより情報の消去を行うことができる。

【0070】情報の再生は、キャリアトラップに捕獲された電子と再生ヘッドとのクーロン相互作用を表面電位、静電容量などとして直接検出する。この再生方法は、非常に高感度であり、このため、少数のキャリアトラップに捕獲された電子を高感度に検出することが可能となる。すなわち、表面電位の検出感度は数mVであるため、数10mV程度の表面ポテンシャルの変化量を容易に検出することができる。

【0071】そして、ナノ結晶を用いた記録媒体の特徴は、

(1)ナノ結晶の元素を選択することにより、エネルギーレベルが深く、密度が高いキャリアトラップを絶縁膜中に作製することができる。

【0072】(2)ナノ結晶から構成されるキャリアトラップを空間的に離散化した状態で絶縁膜中に作製することができる。

【0073】ということであり、その結果として、

(1)書き込み動作電圧を10V以下（場合によっては5V以下）にすることができる。

【0074】(2)トラップが空間的に離散化しているため、記録ビット（記録領域）における情報の繰り返し書き換え消去特性が良好となる。

【0075】(3)トラップのエネルギーレベルが深く、空間的に離散化されているために同一トンネル絶縁膜の厚さで比較した場合、記録ビットのデータ保持特性が良好になる。

【0076】この記録媒体を構成する各構成材料層の形成方法は、先の図1に示す記録媒体の場合と同様であり、記録、消去、再生の方法も、図1に示す記録媒体の場合と同様である。

【0077】この記録媒体に対する記録及び消去は、例えばナノ結晶の構成材料、粒径、間隔などの最適化によって、5V以下とすることができる。また、キャリアのトンネル膜例えばSiO<sub>2</sub>膜の膜厚を小とすることによって、キャリアの注入、逆注入すなわち放出に要する時間、すなわち記録、消去時間をそれぞれ1μs（1μ秒）以下とすることができる。また、記録領域の直径は、ナノ結晶の粒径に対応した10nm程度とすることもできる。

【0078】上述したように、記録および消去には10V以下の動作電圧でよいが、更に記録媒体の材料、膜厚等の最適化によって5V以下とすることができる。また、強誘電体薄膜の自発分極が反転するのに必要な時間は1μs以下と非常に速く、1μs以下での高速記録及び消去が可能となる。

【0079】したがって、記録ヘッドの並列度100の場合、1ビット当たりの記録時間を10ns以下とすることができる。

【0080】更に、表面電位変化の高速検出もでき、1MHz以上の高速再生ができる。したがって、再生ヘッドの並列度100の場合、1ビット当たりの再生は1MHzよりさらに高速にすることができる。

【0081】また、記録領域の直径を50nm～100nm程度とすることができ、高密度記録領域での記録、消去および再生ができる。

【0082】また、1記録ビット当たりに3値以上の情報を記録することにより、さらに記録密度を増大させることができる。

【0083】以上述べたように、複数の集積ヘッドを用いて、並列記録または並列再生を行うことに、極めて優れた高速高密度記録が達成可能である。

【0084】次に、本発明における記録・消去機構と、再生機構の具体例を説明する。

【0085】〔記録・消去機構〕図2は、本発明を適用した記録、消去装置の一例を示す概略構成図である。この記録、消去装置は、記録媒体10を載置した載置台30、針状電極21を含む記録ヘッドHRを先端に備えたカンチレバー22、記録パルスを付勢するパルス電圧発生回路35および直流電源36、さらにレンズ系31、光検出器32、プリアンプ33、サーボ回路34、半導体レーザダイオード38を備える。

【0086】ここでは、その並列度（n）に応じてn個の記録ヘッドを用いるが、並列している個々のヘッドの動作は各々独立であるため、図2では説明の便宜上、単一のヘッド（針状電極）のみを示す。

【0087】針状電極21は、例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に記録媒体に対して点接触ないしは微小面接触できる構成であり、記録ヘッドHRは、先端にこの針状電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー22は、バネ定数0.01～10（N/m）のSiもしくはSiNからなり、その表面にAu、Pt、Co、Ni、Ir、Cr、DLC（ダイヤモンドライクカーボン膜）等の単層ないしは多層構造の金属層が被覆されることによって高い導電性が付与されて成る。あるいは、針状加工が可能で、導電性を有する不純物ドーピングのなされた導電性シリコンによって構成される。これらカンチレバー22は、いわゆるマイクロファブリケーション技術によって作製し、5～10000個が並列して配列されている。

【0088】載置台30は、記録媒体10が載置され、その面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされている。この載置台30は、さらにカンチレバー2



2の針状電極21との接触状態を調整できるように記録媒体10の面方向と垂直方向（以下z軸方向という）に移動制御できるように構成される。

【0089】この載置台30のz軸方向の制御は、例えば、半導体レーザー38からのレーザー光を、収束レンズ系31によって収束させてカンチレバー22の先端に照射し、その反射光を例えば複数の分割フォトダイオード例えば4分割フォトダイオードによる光検出器32によって差動検出し、その検出信号をプリアンプ33を通じて、載置台30のz軸制御を行うサーボ回路34に入力して載置台30のz軸方向の位置を制御することによって、記録媒体10に対して常時、記録ヘッドすなわち針状電極21が、最適な接触状態にあるように制御される。

【0090】記録ヘッドまたは記録／再生マルチヘッドの並列度が増大するにつれて、上記光てこ方式によるヘッドの制御は原理的には半導体レーザーが並列度（n）個必要になるため、装置構成が複雑になる。

【0091】そのような場合は、ヘッドの微小な変位をそのまま電気信号に変換する、圧電材料を用いた単一ヘッドを多数並列に配置した集積ヘッドした記録／再生ヘッドを用いることも可能である。

【0092】また、ヘッドが検出する微小変位信号を電気信号に変換する電気回路を同一ヘッドと集積化した構成の集積記録または再生ヘッドとすることも可能である。

【0093】ここでは、最も基本的な光てこ方式による単一ヘッドを並列度だけ集積化した形態（記録マルチヘッド）での説明を行う。さらに、動作機構は単一ヘッドが並列度だけ独立に動作するため、単一ヘッドの場合の動作機構について説明する。

【0094】そして、カンチレバー22と記録媒体10の下部電極12との間に、記録信号に応じた電圧が印加される。この印加電圧は、記録信号に応じたパルス電圧発生回路35からのパルス電圧を直流電源36による所要の直流バイアス電圧（0Vを含む）に重畳して印加する。

【0095】このようにして、記録媒体10に、カンチレバー22の先端の針状電極21すなわち記録ヘッドHRを接触させた状態で、記録媒体と相対的に移行させて上述の直流電圧にパルス電圧を重畳させた電圧をカンチレバーとSi基体裏面の間に印加することにより、情報の記録を行う。相対的に移行させる方法としては、例えば、上記各針状電極21を固定し、上記記録媒体10を回転または往復動させることが挙げられる。

【0096】また、記録時に流れるトンネル電流は非常に小さく、一度に多数個の記録ビットの記録を行なう場合であっても、並列記録時に流れる全電流は小さく制御することができるため、並列度が大きい場合でも、並列記録は全体のデバイス動作上問題にはならない。

【0097】〔再生機構〕記録媒体10からの記録情報の読み出しすなわち再生は、再生ヘッドが記録媒体と接触しない、すなわち非接触状態で行うか、あるいは接触状態で行う。

【0098】再生装置の場合も、その並列度（n）に応じてn個、例えば5～10000個の記録ヘッドを用いるが、並列している個々のヘッドの動作は各々独立であるため、これから示す図では説明の便宜上、単一のヘッド（針状電極）のみを示す。

【0099】また、再生ヘッドの制御方式も記録ヘッドの場合と同様に圧電材料を用いた場合でも可能であるが、以下の説明では半導体レーザーを用いた光てこ方式の場合の再生マルチヘッドを構成する単一ヘッドにつき説明する。

【0100】先ず、非接触状態による場合について説明する。この再生装置は、基本的には、下記（i）、～（iv）のいずれかの構成による。

【0101】（i）走査型マックスウェル応力顕微鏡（SMM：Scanning Maxwell Stress Microscope）構成。

【0102】（ii）上記SMM構成においてヘテロダイン検出方式を採る構成。

【0103】（iii）ケルビン力顕微鏡（KFM：Kelvin Force Microscope）構成。

【0104】（iv）走査型容量顕微鏡（SCM：Scanning Capacitance Microscope）構成。

【0105】上記（i）～（iv）の構成について説明する。

【0106】（i）SMM構成による場合。

【0107】図3は、SMM構成による再生装置RSMの、再生ヘッドHPとその制御部の構成図を示す。この再生はSMMで知られている動作原理（例えばMolecular Electronics and Bioelectronics vol.3 p79(1992)参照）によってなされる。ここで、再生ヘッドHPは、図2で説明した記録ヘッドHR自体を用いることができるが、いずれの場合においてもこの再生ヘッドHPは記録媒体10に対して非接触状態で用いられる。この再生ヘッドHPは、前述した記録ヘッドHRにおける場合と同様に、先端に例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に針状電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー22は、前述した載置台30上に載置された記録媒体10に非接触な状態で記録媒体10の表面電位 $V_s$ または静電容量の検出によって記録情報の再生がなされる。

【0108】載置台30は、前述したように、これに載置された記録媒体10の面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされ、さらに再生ヘッドHPとしてのカンチレバー22の針状電極21との間隔を調整でき

るように記録媒体10の面方向と直交するz軸方向に移動制御できるように構成される。

【0109】再生ヘッドHPすなわち針状電極21を有するカンチレバー22と記録媒体10との間にバイアス電圧Vを印加すると、静電結合により針状電極21と、記録媒体との間に(数1)で与えられる力F<sub>z</sub>が働く。ここでCは、針状電極21と記録媒体10との間の静電容量、Zは針状電極21と記録媒体10との間の距離である。

【0110】

$$F_z = -\frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) \left\{ V_{DC}^2 + 2 \cdot V_{DC} \cdot V_{AC} \sin \omega t + \frac{1}{2} V_{AC}^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t) \right\}$$

$$\text{但し、}(V_{DC} = V_{off} + V_s)$$

【0113】これによってカンチレバー22は力F<sub>z</sub>を受けて振動する。一方カンチレバー22の先端に、半導体レーザー43からのレーザー光を照射し、その反射光をフォトダイオード等の光検出器44によって検出する。この検出器44によって得られる検出信号Aは、次式(数3)で表すことができる。

【0114】

【数3】

$$A = a \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{DC}^2 + a_w \cdot A_w + a_{2w} \cdot A_{2w}$$

但し、aは定数

【0115】この検出信号Aは、ロックインアンプ45に入力され、ここで、2ω成分の出力(数4)を取り出す。

【0116】

【数4】

$$\overline{A_{2w}} = - \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) V_{AC}^2$$

【0117】この2ω成分による出力は、載置台30のz軸方向の位置制御を行うサーボ回路46に入力し、これによって載置台30のz軸方向の位置制御を行ってこの2ω成分による出力が一定になるようになされる。2ω成分は静電容量の微分信号であり、2ωを一定に制御することにより、誘電率を一定に仮定すれば、カンチレバー22の針状電極21と記録媒体との距離を一定に制御できる。

【0118】このときの載置台30のz軸の制御信号を画像化すると、記録媒体10の表面形状の情報が得られることになる。

【0119】また、このとき同時にω成分の出力(数5)をロックインアンプ45で取り出す。

【0120】

【数5】

【数1】

$$F_z = -\frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) V^2$$

【0111】記録媒体10の表面電位をV<sub>s</sub>とし、V = V<sub>ac</sub> · sin ωt + V<sub>off</sub>

のバイアス電圧Vを印加すると、力F<sub>z</sub>は次式(数2)のようになる。

【0112】

【数2】

$$\overline{A_w} = - \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) (V_{off} + V_s) \cdot V_{AC}$$

【0121】これは媒体10の表面電位V<sub>s</sub>にのみ依存することになる。つまり、これが記録媒体10の表面電位分布に対応した出力となる。そして、このとき、この出力が容量Cの、距離方向Zの偏微分の大きさによって変わることのないように、さらに、ω項がゼロになるようにω成分出力をV<sub>off</sub>の制御回路47にフィードバックしてV<sub>off</sub>の制御を行って、容量Cの、距離方向Zの偏微分の大きさによる影響を排して、V<sub>off</sub> + V<sub>s</sub> = 0 すなわち V<sub>s</sub> = V<sub>off</sub> とする。このようにすればV<sub>s</sub>、言い換えれば、記録媒体10上の表面電位分布として生じる記録情報を読み出すことができる。

【0122】(ii) 上記SMM構成においてヘテロダイン検出方式を採る構成による場合。

【0123】通常のSMMでは、周波数特性はカンチレバーの機械的共振周波数によって限定されるが、この方法によるときは、カンチレバーと記録媒体に働くマックスウエル応力の非線形性を利用することにより、カンチレバーの機械的共振周波数の影響を受けることなく、高周波数成分の差周波を持つビート信号を検出することによる表面電位または静電容量の変化量の再生が可能であり、高周波数領域における高速な多値情報の再生が可能となる。このため、再生ヘッドの周波数特性は、メガヘルツ帯域までの応答が可能となる。

【0124】図4は、この再生装置RSMHにおける再生ヘッドHPとその制御部の構成図を示す。図4において、図3と対応する部分には同一符号をして詳細な説明は省略する。この検出方式は、ヘテロダイン検出方式によるSMMの動作原理による(前記Molecular Electronics and Bioelectronics Vol.3 p79(1992) Vol.79p34(1995)参照)。

【0125】この方式では、通常のSMM検出方式による表面電位の検出等、カンチレバーの共振点より高い周

波数領域における表面電位または静電容量の検出を行うことができる。

【0126】この検出方式においても、再生ヘッドHPすなわち針状電極21を有するカンチレバー22と記録媒体10との間にバイアス電圧Vを印加すると、静電結合により針状電極21と記録媒体10との間に前記(数1)で与えられる力Fzが働く。今、記録媒体10の表面電位をVsとし、

$$V = V_{ac} \cdot \sin \omega t + V_{off}$$

のバイアス電圧Vを印加すると、力Fzは前記(数2)のようになる。これによってカンチレバー22は力Fzを受けて振動する。一方カンチレバー22の先端に、半導体レーザー43からのレーザー光を照射し、その反射光をフォトダイオード等の光検出器44によって検出する。この検出器44によって得られる検出信号Aは、前記(数3)で表すことができる。

【0127】この検出信号は、ロックインアンプ45Bに入力され、ここで、2 $\omega$ 成分の出力(前記(数4))を取り出す。

【0128】この2 $\omega$ 成分による出力は、載置台30のz軸方向の位置制御を行うサーボ回路46に入力し、これによって載置台30のz軸方向の位置制御を行ってこの2 $\omega$ 成分による出力が一定になるようになされる。2 $\omega$ 成分は静電容量の微分信号であり、2 $\omega$ を一定に制御することにより、誘電率を一定に仮定すれば、カンチレバー22の針状電極21と記録媒体との距離を一定に制御できる。

【0129】このときの載置台30のz軸の制御信号を画像化すると、記録媒体10の表面形状の情報が得られることになる。

【0130】また、このとき同時に $\omega$ 成分の出力(前記(数5))をロックインアンプ45Bで取り出す。

【0131】これは記録媒体10の表面電位Vsにのみ依存することになる。つまり、これが記録媒体10の表面電位分布に対応した出力となる。そして、このとき、この出力が容量Cの、距離Zについての偏微分の大きさによって変換することのないように、さらに、 $\omega$ 項がゼロになるように $\omega$ 成分出力をフィードバックしてVoffの制御を行って、容量Cの、距離Zについての偏微分の大きさによる影響を排して、

$$V_{off} + V_s = 0 \quad \text{すなわち} \quad V_s = -V_{off}$$

とする。また、 $\omega$ 項の値を直接検出することによっても情報を読み出すことは可能である。

【0132】このようにしてVs、言い換えれば、記録媒体10上の表面電位分布として生じる記録情報を読み出すことができる。

【0133】そして、通常のSMMでは、その再生系の周波数特性はカンチレバーの共振周波数によって制限されるが、ヘテロダイン検出方式を用いることによりカンチレバーの機械的共振周波数よりも高い周波数帯域での

静電容量または表面電位の検出が可能となる。このため、再生ヘッドの周波数特性は、MHz帯域までの応答が可能となる。

【0134】ヘテロダイン検出方式のSMMの動作原理は以下の通りである。

【0135】SMMでMHz以上の高周波数成分を含む複数の交流電圧をカンチレバー22と記録媒体10との間に印加し、誘起されたカンチレバー22の振動を4分割光検出器44で検出する。

【0136】

【数6】

$$V(t) = V_{AF}(t) + V_{RF}(t)$$

【0137】ここで、Vafは、(数7)で与えられ、カンチレバーの共振周波数以下の周波数成分からなる低周波電圧で、低周波発振器56およびローパスフィルタ57によって得たDC(直流)バイアス電圧Vdcと周波数 $\omega_0$ の交流電圧からなる。Vrfは、(数8)で与えられ、カンチレバーの共振周波数より高い交流電圧を示し、高周波発振器58からの周波数 $\omega_a$ でハイパスフィルタ59よりの周波数 $\omega_r$ の高周波キャリア信号を変調の深さMで振幅変調したものである。

【0138】

【数7】

$$V_{RF}(t) = V_1(1 + M \cos \omega_a t) \cos \omega_r t$$

【0139】

【数8】

$$F_z(t) = \frac{1}{2} V_1^2 M C^2(\omega_r) \cos(\omega_a t + \phi_a) \\ + \frac{1}{8} V_1^2 M^2 C^2(\omega_r) \cos[2\omega_a t + \phi_2 a] \\ + \text{付加項}$$

【0140】この結果、印加電圧は、DC、 $\omega_0$ 、 $\omega_r$ と $\omega_r + \omega_a$ 、 $\omega_r - \omega_a$ の5種類の周波数成分から構成される交流電圧となる。上記交流電圧がカンチレバーに印加されるとマックスウエル応力が電界の2乗に比例するために、周波数の混合が引き起こされ、和と差の周波数を持つ振動成分がカンチレバー上に誘起され、この振動が光検出器44で検出されプリアンプ55で増幅され、ロックインアンプ45Aおよび45Bに導入される。ロックインアンプ45Aおよびロックインアンプ45Bから得たヘテロダインビート成分、 $\omega_0$ 成分、2 $\omega_0$ 成分は、コンピュータ147に入力される。特に $\omega_a$ で振動するヘテロダインビート成分は周波数 $\omega_r$ での記録媒体での誘電応答についての情報を与える(下記(数9))。ここでRは付加項である。このためヘテロダイン検出方式は、カンチレバーの共振器周波数よりも高い

周波数での記録媒体の静電容量の検出を可能にする。また、記録ビットの信号を同一の周波数で検出することも可能にし、並列再生の場合、有効な方法となる。

【0141】また、カンチレバーの位置の制御は、 $2\omega$ の振幅が常に一定になるように、例えばz軸方向のピエゾ素子(図示せず)による制御によって行われる。

【0142】

【数9】

$$F_z = -\frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial z} \right) V^2$$

【0143】(iii) KFM構成による構成。

【0144】この動作原理は、ケルビン力顕微鏡で知られている(例えばApplied Physics Letters 52 1103(1993)参照)。

【0145】図5は、本発明に係る別の実施形態としてケルビン力顕微鏡型再生装置RKFMの概略構成図である。図5において、図4と対応する部分には同一符号を付して示す。この場合においても、再生ヘッドHPは、図1で説明した記録ヘッドHR自体を用いることができるが、この場合における再生ヘッドHPは記録媒体10に対して非接触状態で用いられる。すなわち、図1で説明した記録ヘッドにおけると同様に、再生ヘッドHPは、先端に例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に針状の電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー22は、前述した載置台30上に載置された記録媒体10に非接

触な状態で記録媒体10の表面電位Vsの検出すなわち記録情報の再生がなされる。そして、この場合、共振周波数が充分高く、バネ定数が充分低いカンチレバーを用いることにより、KFMを用いてMHz帯の高周波数領域における高速の再生が可能となる。

【0146】この載置台30は、前述したと同様にこれに載置された記録媒体10の面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされ、さらに再生ヘッドHPとしてのカンチレバー22の針状電極21との間隔を調整できるように記録媒体10の面方向と直交するz軸方向に移動制御できるように構成される。

【0147】そして、再生ヘッドHPすなわち針状電極21を有する圧電素子23を用いて共振周波数で振動しているカンチレバー22と記録媒体10との間に、バイアス電圧Vを印加すると、静電結合により針状電極21と、記録媒体との間に前記(数1)で与えられる力Fzが働く。

【0148】そして、今、記録媒体10の表面電位をVsとし、

$$V = V_{ac} \cdot \sin \omega t + V_{off}$$

で与えられるバイアス電圧Vを印加すると、力Fzは(数10)のようになるなり、カンチレバー22は力Fzを受けて振動する。

【0149】

【数10】

$$F_z = -\frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial z} \right) \left[ \left( V_s + V_{off} \right)^2 + \frac{V_{ac}^2}{2} \right] + 2(V_s + V_{off}) V_{ac} \sin \omega t - \frac{V_{ac}^2}{2} \cos 2\omega t$$

【0150】一方、カンチレバー22の先端に、半導体レーザー43からのレーザー光を照射し、その反射光をフォトダイオード等の光検出器44によって検出する。この検出器44によって得られる検出信号Aで、カンチレバー22の共振周波数の振幅の減少量に着目する。カンチレバー22の共振周波数の振幅は、記録媒体10とのクーロン相互作用により減少する。この共振周波数の周波数シフトに起因する共振周波数の振幅の減少量また

は位置相変化を検出することにより表面電位または静電容量の微分量等の物理量を求めることができる。

【0151】この検出信号は、ロックインアンプ45に入力され、ここでカンチレバーの共振器周波数 $\omega_r$ 成分の出力(数11)を取り出す。ここで、 $\Delta A$ は自由振動振幅からの減衰量、HはHamaker定数である。

【0152】

【数11】

$$\Delta A = -\frac{2A_0 Q}{3\sqrt{3}K} \left[ \frac{H}{z^7} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \left\{ (V_s + V_{off})^2 + \frac{V_{ac}^2}{2} \right\} \right]$$

$\Delta A$ : 自由振動振幅よりの減衰量, H: Hamaker定数

【0153】この $\omega_r$ 成分による出力は、載置台30のz軸方向の位置制御を行うサーボ回路46に入力し、これによって載置台30のz軸方向の位置制御を行ってこの $2\omega$ 成分による出力が一定になるようにされる。 $\omega_r$ 成分は、ファンデルワールス力とクーロン力に起因する力であり、 $\omega_r$ を一定に制御することにより、誘電率

を一定と仮定すれば、カンチレバー22の針状電極21と記録媒体10との距離を一定に制御できる。

【0154】このときの載置台30のz軸の制御信号を画像化すると、記録媒体10の表面形状の情報が得られることになる。

【0155】また、このとき同時に、 $\omega$ 成分の出力(数

12)をロックインアンプ45で取り出す。

【0156】

【数12】

$$\overline{A\omega} = - \left[ \frac{\partial C}{\partial Z} \right] (V_s + V_{off}) V_{AC}$$

【0157】測定される変位量Aは、カンチレバーの共振点での振動の振幅または位相に対する微分信号となるため記録媒体10の表面電位 $V_s$ の微分に対応する信号が得られる。つまり、これが記録媒体10の表面電位分布に対応した出力となる。そして、このとき、この出力が容量Cの、距離Zについての偏微分の大きさによって変わることのないように、さらに、 $\omega$ 項が0になるように、 $\omega$ 成分出力をVoffの制御回路47にフィードバックしてVoffの制御を行って、前記偏微分の大きさによる影響を排して、

$$V_{off} + V_s = 0 \quad \text{すなわち} \quad V_s = -V_{off}$$

とする。このようにすれば $V_s$ 、言い換えれば、記録媒体10上の表面電位分布として生じる記録情報を読み出すことができる。

【0158】また、記録媒体10からの記録情報の再生の他の例としては、再生ヘッドを記録媒体に接触させた状態での容量変化の検出によって行うことができる。この再生は、具体的には、上述のAFMを発展させた周知の装置である走査型容量顕微鏡(SCM)構成によることができる。

【0159】上述した(i)～(iii)の各再生方法によるときは、再生ヘッドが記録媒体10に対して非接触状態とされることから、再生ヘッド、すなわち針状電極21の磨耗を回避でき、再生ヘッドと記録媒体の長寿命化をはかることができる。

【0160】(iv)SCM構成による場合

この記録媒体10からの記録情報再生は、再生ヘッドを記録媒体10に対して接触させた状態で行う。図6は、記録情報に基づく静電容量の変化量を検出して記録情報の再生を行う、この種類の再生装置の一例の概略構成図を示す。

【0161】図6で、再生装置RSCMは、具体的には上述のAFMを発展させた周知の走査型静電容量顕微鏡SCM：(Scanning Capacitance Microscope)構成とした(以下、この再生装置をSCM型再生装置という)。すなわち、この場合においても、前述した記録装置における同様に、先端に針状電極21を有する導電性カンチレバー22が設けられた再生ヘッドHPを有してなる。この再生ヘッドHPは、記録ヘッドHRと共用することも別構成とすることもできる。この再生ヘッドHPにおいても、先端に例えば円錐状、三角錐状、断面例えば三角の柱状等の実質的に記録媒体に対して点接触ないしは微小面接触できる針状電極21が形成された例えば短冊状の板バネ構成を有し、一端が固定されたカンチレバー22によって構成される。このカンチレバー2

2によって構成される。このカンチレバー22は、バネ定数0.01～10(N/m)のSiもしくはSiNからなり、その表面にAu、Pt、Co、Ni、Ir、Cr、 DLC(ダイヤモンドライクカーボン膜)等の単層ないしは多層構造の金属層が被覆されることによって高い導電性が付与されて成る。あるいは針状加工が可能で、導電性を有する不純物ドーピングのなされた導電性シリコンによって構成される。これらカンチレバー22は、いわゆるマイクロファブリケーション技術によって作製することができる。

【0162】載置台30は、前述したように、これに載置された記録媒体10の面方向に沿って例えば互いに直交するx軸およびy軸に関して移動するように、もしくは回転するようになされ、さらに再生ヘッドHPとしてのカンチレバー22の針状電極21との接触状態を調整できるように記録媒体10の面方向と直交するz軸方向に移動制御できるように構成される。

【0163】再生ヘッドHPの針状電極21を記録媒体10上に接触させ、この状態で載置台30によって記録媒体を例えば回転させて針状電極21を記録媒体10上に走査しつつ、直流電源40からの直流バイアス電圧V記録媒体10に印加し、カンチレバー22と記録媒体10との間の静電容量を検出器50に内蔵する発振周波数915MHzの発振器からの発振周波数シフトとして静電容量信号C(V)を検出し、ロックインアンプ45からdC/dV信号を取り出し、これをコンピュータ52に入力する。この場合、媒体の極くわずかな容量変化が共振周波数のシフトとなり、出力振幅の高低が変化する。この信号を検波回路で検波し、静電容量または静電容量の電圧微分(dC/dV)の変化として検出する。

【0164】その概略構成を説明すると、カンチレバー22に、例えば半導体レーザ43からのレーザ光を照射し、その反射光を光検出器44によって検出し、サーボ回路に入力し、載置台30のz軸方向の制御がなされる。

【0165】この場合の再生ヘッドは、前述した例えば記録ヘッドHRにおける同様のカンチレバー構成を採り得る。このカンチレバーすなわち再生ヘッドは、上述した記録ヘッドと兼用することもできるし、別の構成とすることもできる。いずれにおいても、その再生ヘッドとしてのカンチレバーは、これが記録媒体に接触した状態で通常のAFM装置と同一の方式でフィードバック制御される。そして、記録媒体内の空間電荷に起因する静電容量を再生ヘッドの後段には配置された容量センサで検出する。そして、この検出された静電容量を2次元画像化することができ、これにより静電容量の2次元分布を検出することができる。

【0166】SCMでは、周波数特性はカンチレバーの共振周波数によって限定されず、カンチレバーよりも高い周波数帯域での静電容量の検出が可能となる。このた

め再生ヘッドの周波数特性は、MHz帯域までの応答が可能となる。

【0167】以上では、記録／再生マルチヘッドを用いた記録／再生装置のヘッドの制御には光てこ方式を用いたが、並列度を大きくして圧電材料を用いたヘッド制御の場合であっても、個々の記録／再生ヘッドは独立に動作するため、基本的機能は同一である。

【0168】また、記録または再生ヘッドはSiのマイクロファブリケーション技術すなわちSi基板をベースにしての3次元エッチング技術を用いて作製するため、Si集積回路作製技術を適用することが可能で、単一のヘッドを複数モノリシックまたはハイブリッドに集積した集積記録、再生ヘッドを作製することができる。ここで、複数（例えば100個）の記録ヘッドを用いて同時に情報の記録を行うことにより、記録速度が従来と比べて100倍となる。また、情報の消去においても複数の記録ビットの単位ブロックを同時に消去することが可能となり、消去速度を従来と比較して格段に速くすることができる。さらに、情報の再生においても100個の再生ヘッドを同時に用いることにより再生速度が単一再生ヘッドと比較してさらに高速となる。

【0169】なお、通常の再生ヘッド微小変位の検出には半導体レーザ光の反射光の差動検出を基本とした光てこ方式を用いる。この光てこ方式の微小変位の検出方法は記録または再生ヘッドの並列度が比較的小さい時には集積半導体レーザ光源、集積光検出系を用いることが可能となる。また、集積度が比較的大きい場合には、微小変位の検出に微小変位を直接電気信号量に変換可能な強誘電体を含む材料で記録再生ヘッドを構成することにより、並列度が高い記録または再生ヘッドを実現することができる。

【0170】本発明は、このように針状電極を含むヘッドを複数個配置し、複数個の磁気ヘッドが記録媒体に接触又は非接触な状態で、記録媒体とヘッドを相対的に移行、例えば回転あるいは往復運動させることによって相対的に移行させ、単一のヘッドの針状電極を一方の電極として、記録媒体に電圧を印加することにより記録媒体に存在する電子またはホールトラップ（キャリアトラップ）の所定領域への電荷移動を行い、並列的に記録又は消去する。また、本発明は、上記複数個のヘッドが記録媒体に接触または非接触な状態で、記録媒体とヘッドを相対的に移行させ、所定領域に記録された情報を電荷、表面電位または静電容量の変化量の検出によって並列的に再生する。

【0171】さらに、本発明は、1個の記録ビットに3値以上の情報を記録または消去し、1個の記録ビットに載せられた3値以上の情報を電荷、表面電位または静電容量の変化量の検出によって再生する。

【0172】

【実施例】次に、本発明の具体的な実施例について説明

する。

【0173】[実施例1] この実施例は、電荷蓄積材料により、カンチレバーから記録媒体のトラップへ注入することによる記録態様で、記録ヘッドを10個並列に集積した記録ヘッドを用いて並列記録を行う場合である。

【0174】この場合の記録媒体10は、図7(a)で示すように、Si基板11上に、その表面熱酸化によるSiO<sub>2</sub>膜14(3nm)、LPCVD法によるSiN膜15(10nm)が順次形成され、さらにこれの上に、熱酸化法によりSiO<sub>2</sub>膜16(4nm)が形成されてなる。

【0175】この電荷蓄積層を有する記録媒体10に対する記録は、前述した図2の記録ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体10を、移動載置台30上に配置し、記録媒体10の表面SiO<sub>2</sub>層16に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体10上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーよりSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近(SiN/SiO<sub>2</sub>界面とSiN膜)とに存在するキャリアトラップに電子を局部的に注入して情報の並列記録を行う。すなわち、10個の集積記録ヘッドより同時にキャリアトラップに局所的にキャリア(電子)を注入し、同時に10個の記録ビットを形成することができる。

【0176】なお、並列記録または並列再生ヘッドの微小変位の検出方式としては、従来の光てこ方式及び強誘電体方式のいずれも適用することができるが、本実施例では光てこ方式を採用した。

【0177】また、キャリアの注入または放出は、シリコン基板とSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近のキャリアトラップとの間に行うことも可能である。その場合は、SiO<sub>2</sub>膜14の膜厚を薄くして、SiO<sub>2</sub>膜16の膜厚を厚くする。

【0178】次に、実施例1における記録媒体の電圧容量特性を検討した。

【0179】記録層のトラップが電荷の注入を受けている場合と、電荷の注入を受けていない場合と比較して電圧容量特性が異なる。その結果として、注入電荷の有無で電圧容量特性にヒステリシス特性を示すことが分かる。

【0180】ヒステリシス特性におけるフラットバンド電圧のシフト量ΔVは注入された電荷量に依存しており、注入電荷量が多いほどΔVは大きくなる。このヒステリシス特性は一定のバイアス電圧では注入電荷の有無によって容量の値が異なるため、空間的な容量変化を表面電位の変化として記録媒体に非接触に検出することにより情報の記録再生が可能になる。

【0181】次に、この実施例1における記録消去再生特性を示す。

【0182】まず、記録媒体10のSiO<sub>2</sub>/SiN/



SiO<sub>2</sub>/Si基板(以下材料1という。)に9Vのパルス電圧を10個の記録ヘッドから近接した場所に同時に印加して、局所的に電子をSiN界面付近のトラップから記録ヘッド側に放出する。

【0183】図8に、ある1個の記録ヘッドを用いた9V、2msのパルス電圧を印加した場合の記録ビットパターンをSMMで検出再生した例を示した。

【0184】図8は1次元記録ビットパターンを示す表面電位像であり、周囲と比較して表面電位が増大している部分が情報“0”、周囲と類似した部分が情報の“1”を示している。図8は、7ビット連続して記録した後に、2ビット消去した記録ビットパターンを再生したものである。

【0185】図9には並列記録した2次元記録ビットパターンを示した。記録ビットの直径約100nmの高記録密度を実現している。

【0186】図8、図9のような記録ビットは、複数の記録ヘッドを用いても作成されることが確認されている。例えば、10個の記録ビットを並列記録した場合にも、各記録ビットの直径は約100nmであり、単一記録ヘッドの場合と同様な高記録密度が実現されていることが分かった。これにより、10個の集積記録ヘッドより10個の記録ビットの並列記録が可能であることが分かった。

【0187】また、図7(b)に示すように、Si基体11上に、その表面熱酸化及び熱窒化処理(RTN処理)によるSiON膜17(3nm)、LPCVD法によるSiN膜15(10nm)が順次形成され、これの上に、熱酸化法によりSiO<sub>2</sub>膜16(4nm)が形成されて成る記録媒体を用いた場合でも、本実施例で示した並列記録再生特性を示すことが分かった。

【0188】[実施例2] 本実施例では集積した再生ヘッドを用いて、記録ビットの並列再生を行う場合である。

【0189】記録メディアは実施例1と同様のものを用い、再生ヘッドは10個並列に集積したものをを用いた。本実施例ではSMM再生法を用いて、10個の記録ビットの同時並列再生について述べる。

【0190】記録条件は実施例1と同様に、9V、2msの電圧パルスを用いた。

【0191】まず、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0192】再生ヘッドを固定して、3μm×3μmの領域の表面電位分布をSMM法による検討した。

【0193】この場合、表面電位像よりキャリア放出によるコントラストすなわち、記録ビットが形成されていることを確認した。

【0194】次に、多数の記録ビット列を予め形成した

後、SMM方式による並列再生ヘッドで記録ビット列の並列再生を試みた。その結果、記録ビットの再生が可能であることが確認された。

【0195】個々の再生ヘッドによる記録ビットの直径は約100nmであり、単一の再生ヘッドで再生を行った場合と同様な結果を得た。この値は最密記録を仮定すると約63Gb/inch<sup>2</sup>の高記録密度に対応する。

【0196】また、キャリアの注入電荷の有無の差は、電位差では約70mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、キャリア注入または放出の有無での表面電位の値をデジタル信号“0”、および“1”データに対応可能であることが分かった。種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入のスイッチング時間も1μsより小さくすることが可能であることが分かった。記録ビットの直径は約100nmであり、約63Gb/inch<sup>2</sup>の高記録密度を達成することができた。

【0197】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、十分安定に保持されることが分かった。さらに、実施例1の10個の記録ヘッドで並列記録を行った後、10個の再生ヘッドで並列再生を試みたが、基本的に並列記録と並列再生の両立が可能であることを見出した。

【0198】[実施例3] 本実施例では集積した再生ヘッドを用いて、記録ビットの並列再生を行う場合である。

【0199】記録メディアは実施例1と同様のものを用いた。集積ヘッドは10個集積したものをを用いた。

【0200】再生法には図3のヘテロダイン検出SMM再生装置を用い、実施例1と同一な記録媒体の局所的な注入電荷量の差を表面電位V<sub>s</sub>の分布として検出した。

【0201】ヘテロダイン検出方式のSMMでは、10MHzの高周波数領域で表面電位分布を評価した。

【0202】まず、表面形状を評価した結果、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0203】再生ヘッドを固定して、2μm×2μmの領域の表面電位分布をヘテロダイン検出SMM法を用いて検討した。この場合、1個の再生ヘッドで記録ビットが形成されることを10MHzにおいて確認した。

【0204】次に、予め記録ビット列を作製した後、ヘテロダイン検出法を用いた記録ビット列の並列再生を試みた。その結果、この場合も記録ビット列が再生可能であることが確認された。記録ビットの直径は約100nmであり、個々の再生ヘッドで再生した場合と同一の値を得た。このため、10MHzにおいて、10個並列した再生ヘッドを用いた高密度並列再生が可能であることが分かった。

【0205】キャリアの局所的注入または放出領域と、

それ以外の領域での電荷量の差は、電位差では約70mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号“0”、および“1”データへの対応を十分できる値であることが分かった。

【0206】種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。

【0207】また、キャリア注入または放出の時間すなわち記録消去時間も1 $\mu$ sより小さくすることが可能であることが分かった。

【0208】そして、局所的にキャリアを注入した記録ビット領域は、充分安定に保持されることが分かった。

【0209】上述したように、この実施例3では、10個の集積された再生ヘッドにより記録ビットを高速に並列再生することができた。

【0210】さらに、実施例1の10個の記録ヘッドで並列記録を行った後、10個の再生ヘッドで並列再生を試みたが、基本的に並列記録と並列再生の両立が可能であることを見出した。

【0211】〔実施例4〕本実施例では集積した再生ヘッドを用いて、記録ビットの並列再生を行う場合である。

【0212】記録メディアは実施例1と同様のものを用い、集積ヘッドは10個並列に集積したものをを用いた。

【0213】再生法には図5のKFM (Kelvin Force Microscope) 再生装置を用いて実施例1と同一な記録媒体の局所的な注入電荷量の差を表面電位Vsの分布として検出した。

【0214】KFMでは、5MHzの高周波数領域で表面電位分布を評価した。

【0215】まず、表面形状を評価した結果、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0216】再生ヘッドを固定して、2 $\mu$ m $\times$ 2 $\mu$ mの領域の表面電位分布をKFM法を用いて検討した。この場合、1個の再生ヘッドで記録ビットが形成されることを5MHzにおいて確認した。

【0217】次に、予め記録ビット列を作製した後、ヘテロダイン検出法を用いた記録ビット列の並列再生を試みた。その結果、この場合も記録ビット列が再生可能であることが確認された。記録ビットの直径は約100nmであり、個々の再生ヘッドで再生した場合と同一の値を得た。このため、5MHzにおいて、10個並列した再生ヘッドを用いた高密度並列再生が可能であることが分かった。

【0218】キャリアの局所的注入または放出領域とそれ以外の領域での電荷量の差は、電位差では約70mVであり、KMMの電位分解能が3mVであることから、例えばデジタル信号“0”、および“1”データへの対

応を十分できる値であることが分かった。

【0219】種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入または放出の時間、すなわち記録消去時間も1 $\mu$ sより小さくすることが可能であることが分かった。

【0220】そして、局所的にキャリアを注入した記録ビット領域は、充分安定に保持されることが分かった。上述したように、この実施例4では10個の集積された再生ヘッドにより記録ビットを高速に並列再生することができた。

【0221】さらに、実施例1の10個の記録ヘッドで並列記録を行った後、10個の再生ヘッドで並列再生を試みたが、基本的に並列記録と並列再生の両立が可能であることを見出した。

【0222】〔実施例5〕この実施例における記録媒体は、強誘電体材料により、分極反転による記録態様をとるものである。並列記録は実施例1で示した10個集積した記録ヘッドを用い、並列記録を行った。

【0223】この場合の記録媒体60は、図10に示すように、Si基板61上に、その表面熱酸化によるSiO<sub>2</sub>絶縁膜62が形成され、これの上に、Ti下地層63を介してスパッタリングによる厚さ300nmのPt膜による下部電極層64が形成され、さらにこの上に活性層としてのBi層状化合物であるSrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>よりなる強誘電体膜65がMOD法またはMOCVD法によって形成されてなる。

【0224】この材料は分極反転を10<sup>12</sup>回繰り返しても疲労特性の非常少ない材料であり、残留分極の2倍(2Pr)の値は15~30 $\mu$ C/cm<sup>2</sup>、抗電圧は2V以下である。

【0225】データの保持時間は室温で10年以上ある。データの書換時間は電極面積に比例することが実験的に確認されており、2 $\mu$ m角で1ns以下になる。キャパシタ部分のスイッチング特性は究めて速い。あるデータを連続して書き込んだ後、異なるデータを書き込んだ場合の信頼性もある。

【0226】この強誘電体膜を有する記録媒体60に対する記録は、前述した図2の記録ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体60を、移動載置台30上に配置し、この強誘電体膜65に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体20上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基いてパルス電圧を印加して、強誘電体膜65に局所的に分極反転を生じさせて情報の記録を行う。すなわち、強誘電体膜65の表面に記録情報に応じた分極反転に起因する電位パターンを形成する。記録ヘッドは10個並列に集積されており、本実施例では10個並列に記録を行った。

【0227】記録媒体60からの記録情報の読み出しすなわち再生は、図3で説明したように、記録媒体60の

強誘電体膜65の分極反転によって生じた表面電位 $V_s$ の分布の検出によって行う。

【0228】図11は、この実施例5における記録媒体の電圧分極特性を示す。この場合、その記録層が強誘電体膜であるため、ヒステリシス特性を示している。そして、この場合残留分極 $P_r$ の2倍( $2P_r$ )の値は $28\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は約0.8Vであった。このようにBi層状化合物の $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ は、良好なヒステリシス特性を示す強誘電体薄膜であることが分かる。

【0229】次に、この実施例5における記録消去再生特性を示す。

【0230】記録ヘッドを固定し、まず、記録媒体60の $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ による強誘電体膜65の $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ の領域に、9Vの直流電圧を印加して自発分極の方向を一方向に揃える。次に、-7Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、局所的に分極の向きを反転させる。次に、図3のヘテロダイン検出SMM再生装置を用いて強誘電体膜65の局所的な分極の向きの差を表面電位 $V_s$ の分布として検出する。ヘテロダイン検出SMMによって評価した表面形状と表高電位微分像を検討した。得られた表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0231】10個の記録ヘッドより並列記録した結果、記録ビット列が形成されることを確認した。記録ビットの直径は約200nmであり、単一の記録ヘッドの場合とほぼ同一の高記録密度が実現された。

【0232】一方、ヘテロダインSMM再生法を用いて、10個を並列に集積した再生ヘッドを用いて記録ビット列の並列再生を行ったが、10MHzの周波数に対応する表面電位像の応答信号を検出することができた。

【0233】分極の向きの差は電位差では約70mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号“0”および“1”のデータの識別を充分行うこのできる値であることが分かった。

【0234】このことから、強誘電体材料薄膜記録媒体の局所的な分極の向きがカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により電界の方向に揃うことが示された。この2種類の局所的な分極の向きをデジタルデータのストレージの“0”と“1”に対応させることができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの“0”と“1”に対応させることにより高密度記録ができる。記録スポットの直径は約200nmであったが、種々の実験の結果、100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転のスイッチング時間も1 $\mu\text{s}$ より小さいことが分かった。

【0235】そして、局所的に分極の向きが反転した領域は、十分安定に保持されることが分かった。また、記

録媒体として、Ti下地層63を挿入しない場合の記録媒体の記録再生特性も検討した結果、この場合もTi下地層を配置した図8で示した記録媒体における記録再生特性と同等な特性を示すことを確認した。

【0236】上述したように、この実施例5でヘテロダイン検出SMM法を並列再生法に用いることにより高速な記録ビットの並列再生が可能な高密度記録装置として十分な機能をもっていることが分かった。

【0237】また、強誘電体膜を $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ によって構成して、並列記録、並列再生した場合もこの実施例5と同等以上の特性が得られた。

【0238】〔実施例6〕本実施例では記録媒体として強誘電体材料に実施例5と同様のBi層状化合物とした場合の結果を示した。本実施例ではKFM再生法を用いた10個の集積した再生ヘッドの並列再生の結果を示した。

【0239】次に、記録消去再生特性を示す。基本的な実験方法は実施例4と同一である。

【0240】記録ヘッドを固定し、まず、記録媒体10の $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ による強誘電体膜の $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ の領域に、9Vの直流電圧を印加して自発分極の方向を一方向に揃える。次に、-7Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、局所的に分極の向きを反転させる。

【0241】次に、図5のKFM再生装置を用いて記録メディアの局所的な分極の向きの差を表面電位 $V_s$ の分布として検出する。KFMによって評価した表面形状と表面電位微分像を検討した。

【0242】得られた表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0243】10個の記録ヘッドより並列記録した結果、記録ビット列が形成されることを確認した。

【0244】記録ビットの直径は約200nmであり、単一の記録ヘッドの場合とほぼ同一の高記録密度が実現された。

【0245】一方、KFM再生法を用い、10個を並列に集積した再生ヘッドを用いて記録ビット列の並列再生を行ったが、10MHzの周波数に対応する表面電位像の応答信号を検出することができた。

【0246】分極の向きの差は電位差では約70mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号“0”および“1”のデータの識別を充分行うこのできる値であることが分かった。

【0247】このことから、強誘電体材料薄膜記録媒体の局所的な分極の向きがカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により電界の方向に揃うことが示された。この2種類の局所的な分極の向きをデジタルデータのストレージの“0”と“1”に対応させることができ

る。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの“0”と“1”に対応させることにより高密度記録ができる。

【0248】記録スポットの直径は約200nmであったが、種々の実験の結果、100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転のスイッチング時間も1 $\mu$ sより小さいことが分かった。

【0249】そして、局所的に分極の向きが反転した領域は、十分安定に保持されることが分かった。また、記録媒体として、Ti下地層を挿入しない場合の記録媒体の記録再生特性も検討した結果、この場合もTi下地層を配置した図10に示した記録媒体における記録再生特性と同等な特性を示すことを確認した。

【0250】上述したように、この実施例6でKFM法を再生法に用いることにより高速な記録ビットの並列再生が可能な高密度記録装置として十分な機能をもっていることが分かった。

【0251】また、強誘電体膜を $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ によって構成して、また、共振周波数が1.5MHzのカンチレバーを用いることにより、1MHzの高周波数領域での記録ビットの応答信号の10個の並列ヘッド検出再生をすることができた。

【0252】種々の実験の結果、記録領域のスポット直径は100nm以下にすることが可能であることが分かった。分極反転に起因した空間電荷層の“蓄積状態”と“空乏状態”のスイッチング時間も1 $\mu$ sより小さいことが分かった。

【0253】また、局所的に分極反転に起因した記録ビットの領域は十分安定に保持されることが分かった。

【0254】以上より、本実施例で示した記録装置及び記録媒体は高性能の高密度記録装置として十分な機能をもっていることが分かった。

【0255】〔実施例7〕本実施例では、記録媒体の記録がなされる活性層を、PZT( $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ )強誘電体膜とした。10個の並列に集積した記録または再生ヘッドを用いて、並列記録または並列再生を行った場合である。

【0256】この記録媒体は、図12にその概略断面図を示すように、導電性を有するSi基体71上に熱酸化によって $\text{SiO}_2$ 絶縁膜72を形成し、これの上にそれぞれスパッタリングによって厚さ300nmの $\text{IrO}_2$ 電極層73A、 $\text{Ir}$ 電極層73Bを順次被着形成して下部電極層を形成する。そして、これの上にチタン酸ジルコン酸鉛[PZT( $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ )]による強誘電体膜74をスパッタリングによって厚さ300nmに形成した。

【0257】この材料(PZT)の特徴は、残留分極 $P_r$ の2倍( $2P_r$ )の値は40~50 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であること、すなわち実施例5における強誘電体膜の材料の約2倍程度を示すということである。また、抗電圧は2

V以下である。尚、これまで問題となっていた材料の疲労は、酸化物電極下地層を用いることにより改善されている。

【0258】データの書換時間は電極面積に比例することが実験的に確認されており、2 $\mu\text{m}$ 角で1ns以下になる。キャパシタ部分のスイッチング特性は極めて速い。あるデータを連続して書き込んだ後、異なるデータを書き込んだ場合の信頼性もある。

【0259】この記録媒体は分極の電圧依存性より、ヒステリシス特性を有し、強誘電体に特有な特性を示した。残留分極の2倍( $2P_r$ )は40 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電圧は1.5Vであった。

【0260】次に、この実施例7の記録消去再生特性を示す。

【0261】記録ヘッドを固定し、まず、記録媒体のPZTによる強誘電体膜74の2 $\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ の領域に、9Vの直流電圧を印加して自発分極の方向を一方に揃える。次に、-7Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、局所的に分極の向きを反転させる。

【0262】次に、図3のヘテロダイン検出SMM再生装置を用いて局所的な分極の向きの差を表面電位 $V_s$ の分布として検出する。ヘテロダイン検出SMMによって評価した表面形状と表面電位微分像を検討した。得られた表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0263】10個の記録ヘッドより並列記録した結果、記録ビット列が形成されることを確認した。

【0264】記録ビットの直径は約300nmであり、単一の記録ヘッドの場合とほぼ同一の高記録密度が実現された。

【0265】一方、ヘテロダインSMM再生法を用いて、10個を並列に集積した再生ヘッドを用いて記録ビット列の並列再生を行ったが、10MHzの周波数に対応する表面電位像の応答信号を検出することができた。

【0266】分極の向きの差は電位差では約80mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号“0”および“1”のデータの識別を十分行うことのできる値であることが分かった。

【0267】このことから、強誘電体材料薄膜記録媒体の局所的な分極の向きがカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により電界の方向に揃うことが示された。この2種類の局所的な分極の向きをデジタルデータのストレージの“0”と“1”に対応させることができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分でデジタルデータの“0”と“1”に対応させることにより高密度記録ができる。

【0268】記録スポットの直径は約300nmであっ

たが、種々の実験の結果、100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、分極反転のスイッチング時間も1 $\mu$ sより小さいことが分かった。

【0269】そして、局所的に分極の向きが反転した領域は、十分安定に保持されることが分かった。

【0270】上述したように、この実施例7でヘテロダイン検出SMM法を再生法に用いることにより高速な記録再生が可能な高密度記録装置として十分な機能をもっていることが分かった。

【0271】〔実施例8〕この実施例においては、記録ヘッドであるカンチレバーと記録媒体との間に電圧パルスを加して情報の記録を行うものであるが、この場合、記録媒体の基体側からのキャリア（電子）を電荷蓄積層のトラップに注入する記録態様をとる場合である。

【0272】この場合の記録媒体80は、図13にその概略断面図を示すように、導電性半導体基体81としてのp型のSi基体上に、下層絶縁膜84を被着形成する。この下層絶縁膜84は、キャリア、この例では電子をトンネルすることのできる厚さに選定されたボトム側のトンネル絶縁膜となるものであり、この下層絶縁膜84は、基体81の表面熱酸化による厚さ1.8nmのSiO<sub>2</sub>膜によって形成し得る。この下層絶縁膜84上に、プラズマCVD法によるSiによるナノ結晶（ナノクリスタル）85Cを形成する。このナノ結晶85Cは、結晶粒径が約5nmで、約5nmの間隔で配列される。これの上に、LPCVD法によりSiO<sub>2</sub>絶縁膜85iを形成してナノ結晶85Cを埋め込んだナノ結晶層85を形成し、続いてこれの上にSiO<sub>2</sub>による上層絶縁膜86を形成することによって電荷蓄積層87を形成する。この上層絶縁膜86の厚さは、6nmとされ、これにより記録媒体の表面は比較的平面に形成される。しかしながら、必要に応じて、この記録媒体の表面を例えばCMP（化学的機械的研磨）処理によって平坦化処理することもできる。

【0273】この構成による記録媒体80の電荷蓄積層87は、ナノ結晶15Cと、これと絶縁膜85i及び86のSiO<sub>2</sub>のためにキャリアトラップとして動作するキャリアトラップを有する層として形成される。

【0274】そして、基体81の電荷蓄積層87が形成された側とは反対側の裏面に、金属電極層による下部電極82がオーミックに被着される。

【0275】この電荷蓄積層87を有する記録媒体80に対する記録は、前述した図2の記録ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体80を、移動載置台30上に配置し、記録媒体80の活性層側すなわち電荷蓄積層87側の表面、つまり上層絶縁膜86側の表面に、針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーより電荷蓄積層87の主としてSiナノ結晶層5におけるキャリアトラップにキャリア例えば電子を局部的に注入して情報の記録を行

う。すなわち、キャリアトラップに局所的に注入したキャリア（電子）の有無による電荷量の変化として記録がなされ、この記録情報に応じた電位パターンを形成する。

【0276】この記録媒体80の、電荷蓄積層87の主としてSiナノ結晶層85によるキャリアトラップへの電荷注入、すなわち情報の記録は、Si基体81側からのキャリアの注入と、カンチレバー側からの注入との2種類存在するが、本実施例ではSiO<sub>2</sub>下層絶縁膜84をトンネル膜として主としてSiナノ結晶層85のトラップに電子を局所的に注入することによって局所的に電荷量の差を生じさせ、電荷量の差の検出を表面電位Vsの分布の検出によって行う。なお、本実施例においてSiO<sub>2</sub>膜86は膜厚が厚いため、このSiO<sub>2</sub>膜86でのトンネル確率が低くカンチレバー側からのSiナノ結晶層への電子が注入される確率は少ない。

【0277】次に、本実施例8における記録媒体の電圧-容量特性について述べる。本実施例における記録媒体の記録層、すなわち電荷蓄積層において、そのSiナノ結晶層であるトラップが電荷の注入を受けている場合と、電荷の注入を受けていない場合とでは、電圧-容量特性が異なる。その結果として、注入電荷の有無で電圧-容量特性にヒステリシス特性を示す。ヒステリシス特性におけるフラットバンド電圧のバイアス電圧の差 $\Delta V$ は、注入された電荷量に依存しており、注入電荷量が多いほど $\Delta V$ は大きくなる。このヒステリシス特性は、一定のバイアス電圧では注入電荷の有無によって容量の値が異なるため、空間的な容量変化を表面電位の変化として情報の記録、かつこれを検出することにより情報の再生を行うことができる。

【0278】次に、この実施例8における記録、消去および再生特性を示す。

【0279】まず、SiO<sub>2</sub>上層絶縁膜86/Siナノ結晶層85/SiO<sub>2</sub>下層絶縁膜84/Si基体81/下部電極82による記録媒体80に、5Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21と下部電極82との間に印加して、基体81側から、電子を主としてSiナノ結晶層85におけるキャリアトラップに局所的に注入する。この場合、1つのSiナノ結晶トラップには複数個の電子を注入することが可能である。

【0280】このようにして、情報の記録がなされた記録媒体80に対して、図4で説明したヘテロダイン検出SMM再生装置によって、その局所的な注入電荷量の差を表面電位Vsの分布の変化量として検出する。このヘテロダイン検出方式において10MHzの高周波数領域で表面電位分布を評価した。

【0281】その結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されなかった。すなわち、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。そし



て、SMM像では、 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の領域の表面電位分布を検討した。この場合、通常のSMM測定で行っている5~10kHzでの評価結果とほぼ同一であることが分かった。この場合、電子が注入された部分の表面電位のコントラストが、その周辺と比較して低くなっており、記録ビットが観測された。つまり、10MHzでの高周波数領域でも、5~10kHzと同様な表面電位分布が得られていることが分かった。これは、表面電位分布が10MHzの高周波数領域においても検出可能であることを示すものである。

【0282】注入電荷量の差は、電位差では約30mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号“0”および“1”のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0283】また、+5Vを先に、上述の記録媒体10に印加した後に、-5Vのパルス電圧を印加した場合、周辺の表面電位と同様な値を示すことが分かった。これは記録ビットの消去が可能であることを示している。

【0284】また、オーバーライト特性は、パルス電圧条件を最適化することにより可能となることも分かった。また、ヘテロダイン検出方式により、表面電位分布像における記録ビットの検出が10MHzの高周波数領域においても可能であることも分かった。

【0285】このことはヘテロダイン検出方式のSMMを用いることにより、高周波領域での記録ビットの再生が可能であることを示している。このことから、本実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入量がカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により制御可能なことが示された。

【0286】この2種類の局所的な電荷の有無を、デジタルデータのストレージの“0”と“1”に対応させることができる。すなわち、SMM像において、表面電位のコントラストの低い部分と周辺に生じた高い部分でデジタルデータの“0”と“1”に対応させることにより高密度記録ができる。

【0287】次に、予め記録ビット列を作製した後、ヘテロダイン検出法を用いた記録ビット列の並列再生を試みた。その結果、この場合も記録ビット列が再生可能であることが確認された。具体的には、10MHzにおいて、10個並列した再生ヘッドを用いた高密度並列再生が可能であることが分かった。

【0288】種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。

【0289】また、キャリア注入による記録、消去時間も1 $\mu\text{s}$ より小さくすることが可能であることが分かった。

【0290】そして、局所的にキャリアを注入した記録ビット領域は、十分安定に保持されることが分かった。

【0291】上述したように、この実施例8では、10

個の集積された再生ヘッドにより記録ビットを高速に並列再生することができた。

【0292】さらに、10個の記録ヘッドで並列記録を行った後、10個の再生ヘッドで並列再生を試みたが、基本的に並列記録と並列再生の両立が可能であることを見出した。

【0293】〔実施例9〕本実施例では記録媒体として、実施例1と同様の電荷蓄積材料による記録媒体を用い、図2及び図3で説明した10個並列に作製した記録および消去ヘッドHRと、並列再生ヘッドHPをそれぞれ別構成とした。

【0294】すなわち、各ヘッドHRとHPのカンチレバーを独別に構成し、記録媒体10に対して接触状態で用いられる記録および消去ヘッドHRの針状電極に関しては、その摩耗を考慮して表面に形成される導電層を比較的厚く形成し、例えばその先端の曲率半径が50~100nmとするのに対して、非接触状態で用いられる再生ヘッドHPに関しては、その摩耗を考慮する必要がないことから、表面導電層は薄く形成して、その針状電極の先端の曲率半径は記録および消去ヘッドHRのそれより小さい30nm以下とする。

【0295】このように、再生ヘッドの針状電極の先端の曲率半径を小さくすることによって、再生時の表面電位の空間分解能の解像度を上げることができることから、その最小記録領域の大きさを直径約60nm以下にまで小さくすることができた。

【0296】10個を集積した再生ヘッドを用いた場合でも、並列再生は可能であることが分かった。

【0297】また、局所的に電荷が注入された領域は、十分安定に保持できた。

【0298】上述したように、本実施例で高密度記録再生装置として十分な機能をもっていることが確認された。

【0299】また、この実施例1では電荷蓄積材料による記録媒体を用いたが、他の実施例で示した電荷蓄積材料を記録媒体に適用した場合であっても本発明の本質が変わらないことは言うまでもない。

【0300】〔実施例10〕本実施例ではディスク形状をしている記録媒体を回転させ、10個の集積した記録または再生ヘッドを用いて、並列記録または並列再生を行った。

【0301】ヘッドは実施例9で確認した2種類の記録および再生用ヘッドを用いた。また、記録媒体は実施例1で用いた電荷蓄積材料による媒体を用いた。

【0302】この場合の情報の記録再生特性は、実施例1と同様に確認することができた。

【0303】また、記録媒体と非接触状態で情報の再生を行っているため、記録媒体が高速回転している場合でも、ヘッドと記録媒体間の摩擦摩耗による影響を最小限に抑止することができた。



【0304】また、種々の実験の結果、この場合においても記録スポット直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。記録消去時間は1 $\mu$ sより小さくすることができた。

【0305】また、記録ヘッドの共振周波数を十分大きく(10MHzオーダ)、バネ定数を十分小さく(約1N/m)することにより、記録ビットの5MHz帯での10個並列な高速再生が可能になった。

【0306】さらに、局所的に電荷が注入された領域は十分安定に保持された。

【0307】〔実施例11〕この実施例における記録媒体は、針状電極を含むヘッドから電子を、記録媒体のキャリアトラップに注入または放出することによる記録態様で3値記録をとる場合でかつ10個並列に配置した記録マルチヘッドを用いた10並列記録をとる場合である。

【0308】この場合の記録媒体は、図7(a)にその概略断面図を示すように、Si基体11上に、その表面熱酸化による厚さ4nm SiO<sub>2</sub>膜14が形成され、これの上にLPCVD(低圧CVD(化学的气相成長))法により厚さ10nmのSiN膜15が形成され、これの上に、熱酸化法により厚さ3.5nmのSiO<sub>2</sub>膜16による電荷蓄積層が形成されて成る。

【0309】この電荷蓄積層を有する記録媒体に対する記録は、前述した記録マルチヘッドを構成する単一の記録ヘッドHRによって行う。この記録マルチヘッドは並列に10個配置されている。その中の任意の記録ヘッドに対して、記録媒体を、移動載置台30上に配置し、記録媒体の表面SiO<sub>2</sub>層16に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーよりSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近に存在するキャリアトラップに電子を局所的に注入または放出して3値情報に対応する情報の記録をパルス電圧の極性に対応させて行う。

【0310】すなわち、記録媒体中のキャリアトラップに局所的に注入または放出したキャリア(電子)の状態により表面電位が制御可能であり、その結果として3値記録の記録情報に応じた電位パターンを形成することができる。

【0311】次に、この実施例における記録媒体の電圧容量特性を検討した。

【0312】記録層のトラップが電荷の注入を受けている場合と、電荷の注入を受けていない場合と比較して電圧容量特性が異なる。その結果として、注入電荷の有無で電圧容量特性にヒステリシス特性を示すことが分かる。

【0313】ヒステリシス特性におけるフラットバンド電圧のシフト量 $\Delta V$ は注入された電荷量に依存しており、注入電荷量が多いほど $\Delta V$ は大きくなる。このヒス

テリシス特性は一定のバイアス電圧では注入電荷の有無によって静電容量の値が異なるため、キャリアトラップへの局所的キャリアの注入の有無による空間的な容量変化を表面電位の変化として記録媒体に非接触状態で検出することにより情報の記録再生が可能になる。

【0314】次に、この実施例11における記録消去再生特性を示す。

【0315】まず、記録媒体に、-9Vまたは9Vのパルス電圧を、針状電極を含む任意の記録ヘッドHRの針状電極21から、これに近接した場所に印加して、局所的に電子をSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近のトラップに注入または放出する。

【0316】図14に9V、4msのパルス電圧を印加した場合の記録ビットパターンをSMMで検出再生した例を示した。図14はその表面電位像であり、周囲と比較して表面電位が増大している部分を情報"2"、周囲と同一の表面電位の部分を情報の"1"に対応させることができる。また、図15に示すように-9V、4msのパルス電圧を印加することにより、周囲と比較して表面電位が減少している部分が生じ、この表面電位が情報"0"に対応させることができる。図16にSMM再生法を用いて検出再生した1次元記録ビットパターンを示す。情報"2"は9V、2msのパルス電圧による電子の局所的な放出により形成した。情報"2"と情報"1"に対応する記録ビットパターンが形成されていることが分かる。

【0317】図17に情報"2"に対応する2次元記録ビットパターンを示す。記録ビットの直径は約100nmであり、従来と比較して数倍の高記録密度を実現した。このことより、3値情報の記録、再生ができることが分かった。

【0318】以上、10個並列に並んでいる記録マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドを用いた3値記録再生について示したが、他の9個の記録ヘッドを用いた場合であっても、3値記録再生は可能であり、この系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で1.5倍、記録速度で10倍の特性を得ることができる。

【0319】次に、図4のヘテロダイン検出SMM再生装置を用いて、上述の記録媒体に対する記録、すなわち局所的な注入電荷量の差を静電容量表面電位Vsの分布として検出した。この場合、10MHzの高周波数領域で静電容量表面電位分布を評価した。

【0320】その結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0321】このヘテロダイン検出SMM像において、電子が注入または放出された部分にコントラストが生じ、記録ビットが再生された。その表面電位は周辺と比較して増大または減少していることが分かり、パルス電

圧の極性によって記録ビットの極性が対応することが分かった。この2種類の極性と周辺の電子の注入または放出されていない位置の表面電位とを併せて3値の情報の記録再生が可能なが分かった。

【0322】また、ヘテロダイン検出SMM再生法を用いることにより、10MHzでの高周波数領域でも通常のSMMの動作領域である5~20kHzの場合と同様な表面電位分布が得られていることが分かった。これは表面電位分布が10MHzの高周波数領域においても記録ビットの検出再生ができることを示すものである。

【0323】キャリアの注入電荷量の差は電位差で約70mVであり、SMMの電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号"0"、"1"および"2"のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0324】このことから、この実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入または放出量がカンチレバー記録ヘッドよりのパルスバイアス電圧印加により制御可能であることが示された。

【0325】この2種類の局所的な電荷に起因した表面電位の値をデジタルデータのストレージの"0"、"1"と"2"に対応させることができることが分かった。

【0326】種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入の記録または消去時間も1μsより小さくすることが可能であることが分かった。

【0327】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。

【0328】以上、10個並列に並んでいる記録マルチヘッドの任意の記録ヘッドを用いた3値記録のヘテロダイン検出SMM再生法を用いた高速再生において示したが、他の9個の記録ヘッドを用いた場合であっても、3値記録、高速再生は可能であり、この記録マルチヘッド系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で1.5倍、記録速度で10倍の特性を得ることができる。

【0329】上述したように、この実施例11では記録マルチヘッドを用いた3値記録の高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0330】本実施例では記録マルチヘッドが10個並列に並んだ場合の10並列記録3値記録再生装置について示したが、10並列記録3値記録装置、または10並列記録3値再生装置（再生専用）としても適用可能なことは言うまでもない。

【0331】また、記録マルチヘッドの並列度を10以上に大きくした場合であっても本発明は適用可能である。

【0332】〔実施例12〕この実施例における記録媒体は、針状電極を含むヘッドから電子を、記録媒体のキャリアトラップに注入または放出することによる記録態

様で3値記録をとる場合でかつ記録／再生マルチヘッドを10並列に配置して10並列記録／再生をとる場合である。

【0333】この場合の記録媒体は、図7(a)にその概略断面図を示すように、Si基体11上に、その表面熱酸化による厚さ4nm SiO<sub>2</sub>膜14が形成され、これの上にLPCVD（低圧CVD（化学的气相成長））法により厚さ10nmのSiN膜15が形成され、これの上に、熱酸化法により厚さ3.5nmのSiO<sub>2</sub>膜16による電荷蓄積層が形成されて成る。

【0334】この電荷蓄積層を有する記録媒体に対する記録は、前述した記録マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドHRによって行う。この記録マルチヘッドは並列に10個配置されている。

【0335】その中の任意の記録ヘッドに対して、記録媒体を、移動載置台30上に配置し、記録媒体の表面SiO<sub>2</sub>層16に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーよりSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近に存在するキャリアトラップに電子を局所的に注入または放出して3値情報に対応する情報の記録をパルス電圧の極性に対応させて行う。

【0336】すなわち、記録媒体中のキャリアトラップに局所的に注入または放出したキャリア（電子）の状態により表面電位が制御可能であり、その結果として3値記録の記録情報に応じた電位パターンを形成することができる。

【0337】次に、この実施例における記録媒体の電圧容量特性を検討した。

【0338】記録層のトラップが電荷の注入を受けている場合と、電荷の注入を受けていない場合と比較して電圧容量特性が異なる。その結果として、注入電荷の有無で電圧容量特性にヒステリシス特性を示すことが分かる。

【0339】ヒステリシス特性におけるフラットバンド電圧のシフト量ΔVは注入された電荷量に依存しており、注入電荷量が多いほどΔVは大きくなる。このヒステリシス特性は一定のバイアス電圧では注入電荷の有無によって静電容量の値が異なるため、キャリアトラップへの局所的キャリアの注入の有無による空間的な容量変化を表面電位の変化として記録媒体に非接触状態で検出することにより情報の記録再生が可能になる。

【0340】次に、この実施例12における記録消去再生特性を示す。

【0341】まず、記録媒体に、-9Vまたは9Vのパルス電圧を、針状電極を含む任意の単一ヘッドHRの針状電極21から、これに近接した場所に印加して、局所的に電子をSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近のトラップに注入または放出する。

【0342】9 V、4 msのパルス電圧を印加した場合の記録ビットパターンをSMMで検出再生した例を示した。その表面電位像では、周囲と比較して表面電位が増大している部分を情報"2"、周囲と同一の表面電位の部分を情報の"1"に対応させることができる。また、-9 V、4 msのパルス電圧を印加することにより、周囲と比較して表面電位が減少している部分が生じ、この表面電位が情報"0"に対応させることができる。SMM再生法を用いて検出再生した1次元記録ビットパターンを示す。情報"2"は9 V、2 msのパルス電圧による電子の局所的な放出により形成した。情報"2"と情報"1"に対応する記録ビットパターンが形成されていることが分かる。

【0343】情報"2"に対応する2次元記録ビットパターンを示す。記録ビットの直径は約100 nmであり、従来と比較して数倍の高記録密度を実現した。このことより、3値情報の記録、再生ができることが分かった。

【0344】以上、10個並列に並んでいる記録マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドを用いた3値記録再生について示したが、他の9個の記録再生ヘッドを用いた場合であっても、3値記録再生は可能であり、この系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で1.5倍、記録速度で10倍、再生速度で10倍の特性を得ることができる。

【0345】次に、ヘテロダイン検出SMM再生装置を用いて、上述の記録媒体に対する記録、すなわち局所的な注入電荷量の差を静電容量表面電位 $V_s$ の分布として検出した。この場合、10 MHzの高周波数領域で静電容量表面電位分布を評価した。

【0346】その結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0347】このヘテロダイン検出SMM像において、電子が注入または放出された部分にコントラストが生じ、記録ビットが再生された。その表面電位は周辺と比較して増大または減少していることが分かり、パルス電圧の極性によって記録ビットの極性が対応することが分かった。この2種類の極性と周辺の電子の注入または放出されていない位置の表面電位とを併せて3値の情報の記録再生が可能なが分かった。

【0348】また、ヘテロダイン検出SMM再生法を用いることにより、10 MHzでの高周波数領域でも通常のSMMの動作領域である5~20 kHzの場合と同様な表面電位分布が得られていることが分かった。これは表面電位分布が10 MHzの高周波数領域においても記録ビットの検出再生ができることを示すものである。

【0349】キャリアの注入電荷量の差は電位差で約70 mVであり、SMMの電位分解能が1 mVであることから、例えばデジタル信号"0"、"1"および"2"のデー

タの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0350】このことから、この実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入または放出量がカンチレバー記録ヘッドよりのパルスバイアス電圧印加により制御可能であることが示された。

【0351】この2種類の局所的な電荷に起因した表面電位の値をデジタルデータのストレージの"0"、"1"と"2"に対応させることができることが分かった。さらに、種々の実験の結果、最小記録ビットの直径を100 nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入の記録または消去時間も1  $\mu$ sよりの小さくすることが可能であることが分かった。

【0352】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。

【0353】以上、10個並列に並んでいる記録再生マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドを用いた3値記録ビットのヘテロダイン検出SMM再生法を用いた高速再生について示したが、他の9個の記録/再生ヘッドを用いて再生した場合であっても、3値記録、高速再生は可能であり、この系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で1.5倍、記録速度および再生速度で10倍の特性を得ることができる。

【0354】上述したように、この実施例12では3値記録の高密度記録再生装置として十分な機能を持っていることが分かった。

【0355】本実施例では記録/再生マルチヘッドが10個並列に並んだ場合の10並列記録/再生の3値記録再生装置について示したが、並列度を10以上に大きくした場合の多重記録/再生3値記録装置としても適用可能なことは言うまでもない。

【0356】〔実施例13〕本実施例では、実施例11と同様の並列度10の記録マルチヘッド、記録媒体を用いて、5値情報の記録再生消去の検討結果を示した。図18に記録マルチヘッドの中の任意の1個の記録再生ヘッドを用いて検討した、表面電位のパルス電圧依存性を示した。これにより表面電位 $V_s$ はパルス電圧 $V_p$ が増大するにつれて単調に増大していることが分かる。また、バイアス電圧の極性が反対の場合も、表面電位とパルス電圧は図18と同様の関係を示した。このため、この傾向はパルス電圧の極性に依存していないことも分かった。

【0357】そこで、情報を以下に示す表面電位に分割して5値の記録再生を試みた。

【0358】情報"0"として表面電位 -40 mV以下  
情報"1"として表面電位 -35 mV~-15 mV  
情報"2"として表面電位 -10 mV~+10 mV  
情報"3"として表面電位 +15 mV~+35 mV  
情報"4"として表面電位 +40 mV以上

データの記録はプラスマイナス10 Vまたはプラスマイ

ナス6Vの電圧パルスの印加で行い、多値記録が可能な表面電位の値を制御した。

【0359】再生は通常のSMMまたはヘテロダイン検出方式のSMMの表面電位分布の表面電位差として、局所的な電荷トラップ領域に記録させた情報を読み出した。

【0360】電荷蓄積層の $\text{SiO}_2$  /  $\text{SiN}$ 界面付近のトラップに存在する電荷の状態を表面電位の変化としてパルス印加電圧条件により制御し、デジタルデータの“0”、“1”、“2”、“3”および“4”に対応する表面電位が得られることが分かった。ビット情報間の電位差は、SMMの検出感度1mVに対して十分とれることが明らかになった。

【0361】以上より、表面電位の極性と大きさをパルス電圧の極性と電圧の大きさを制御して、5値の情報の記録再生消去を実現した。

【0362】また、先端直径の鋭いカンチレバーを再生ヘッドに用いることにより、記録ビットの直径も100nm以下になることが分かった。

【0363】また、局所的に電荷が注入または放出された記録ビット領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0364】以上、10個並列に並んでいる記録マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドを用いた5値記録のヘテロダイン検出SMM再生法を用いた高速再生について示したが、他の9個の単一記録ヘッドを用いた場合であっても、5値記録、高速再生は可能であり、この記録マルチヘッドの系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で2.5倍、記録速度で10倍の特性を得ることができる。

【0365】以上より、この実施例では5値記録の高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0366】本実施例では5値の記録マルチヘッドを用いた並列記録再生装置について示したが、本発明が5値の並列記録装置、または5値の並列再生装置としても適用可能なことは言うまでもない。

【0367】また、並列度を10以上に大きくした5値並列記録再生装置としても適用可能である。

【0368】〔実施例14〕本実施例では、実施例12と同様の並列度10の記録／再生マルチヘッド、記録媒体を用いて、5値情報の記録再生消去の検討結果を示した。図18に記録再生マルチヘッドの中の任意の1個の記録／再生ヘッドを用いて検討した、表面電位のパルス電圧依存性を示した。これにより表面電位はパルス電圧が増大するにつれて単調に増大していることが分かる。また、バイアス電圧の極性が反対の場合も、表面電位とパルス電圧は図18と同様の関係を示した。このため、この傾向はパルス電圧の極性に依存していないことも分かった。

【0369】そこで、情報を以下に示す表面電位に分割して5値の記録再生を試みた。

【0370】情報“0”として表面電位  $-40\text{mV}$ 以下  
情報“1”として表面電位  $-35\text{mV} \sim -15\text{mV}$   
情報“2”として表面電位  $-10\text{mV} \sim +10\text{mV}$   
情報“3”として表面電位  $+15\text{mV} \sim +35\text{mV}$   
情報“4”として表面電位  $+40\text{mV}$ 以上

データの書き込みはプラスマイナス10Vまたはプラスマイナス6Vの電圧パルスの印加で行い、多値記録が可能な表面電位の値を制御した。

【0371】再生はSMMまたはヘテロダイン検出方式のSMMの表面電位分布の表面電位差として、局所的な電荷トラップ領域に記録させた情報を読み出した。

【0372】電荷蓄積層の $\text{SiO}_2$  /  $\text{SiN}$ 界面付近のトラップに存在する電荷の状態を表面電位の変化としてパルス印加電圧条件により制御し、デジタルデータの“0”、“1”、“2”、“3”および“4”に対応する表面電位が得られることが分かった。ビット情報間の電位差はSMMの検出感度1mVに対して充分とれることが分かった。

【0373】以上より、表面電位の極性と大きさをパルス電圧の極性と電圧の大きさを制御して、10並列した記録／再生マルチヘッドの中の任意の1個の記録／再生ヘッドを用いた5値の情報の記録再生消去を実現した。

【0374】また、先端直径の鋭いカンチレバーを再生マルチヘッドに用いることにより、記録ビットの直径も100nm以下になることが分かった。

【0375】また、局所的に電荷が注入または放出された記録ビット領域は充分安定に保持されることが分かった。

【0376】以上、10個並列に並んでいる記録再生マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドを用いた5値記録のヘテロダイン検出SMM再生法を用いた高速再生について示したが、他の9個の記録ヘッドを用いた場合であっても、5値記録、高速再生は可能であり、この系を用いた場合は、通常の単一ヘッド2値記録と比較して、記録密度で2.5倍、記録速度および再生速度で10倍の特性を得ることができる。

【0377】以上より、この実施例では並列度10個の記録／再生マルチヘッドを用いた5値記録の10並列記録再生、高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0378】本実施例では10個の並列度有する記録マルチヘッドを用いた5値の記録／再生装置について示したが、本発明が並列度が10よりも大きい場合の並列多値記録再生装置としても適用可能なことは言うまでもない。

【0379】〔実施例15〕この実施例における記録媒体は、並列度10の記録再生マルチヘッドの任意の1個の記録ヘッドから電子をトラップに注入または放出する

ことによる3値記録の記録態様をとる場合である。

【0380】この実施例では、図19にその概略断面図を示すように、記録媒体10Bは、Si気体11上に、その表面熱酸化によって厚さ4nm SiO<sub>2</sub>膜14が形成され、これの上にLPCVD法により厚さ5nmのSiN膜15が形成され、さらにこれの上にLPCVD法により厚さ3nmのSiO<sub>2</sub>膜16が形成され、さらにこれの上に、厚さ5nmのSiN膜17が形成され、これの上に熱酸化法またはLPCVD法により厚さ3.5nmのSiO<sub>2</sub>膜16が形成され電荷蓄積層が有して成る。

【0381】上記LPCVDで形成したSiO<sub>2</sub>膜とSiN膜は、クラスツールCVD装置を用いて連続的に作製した。

【0382】この電荷蓄積層を有する記録媒体に対する記録は、前述した図2の記録ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体を、移動載置台30上に配置し、記録媒体の表面SiO<sub>2</sub>層16に、針状電極21を、いわば点接触させて、載置台30を移動させて記録媒体上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーよりSiO<sub>2</sub>/SiN界面付近に存在するキャリアトラップに電子を局所的に注入または放出して情報の記録を行う。すなわち、キャリアトラップに局所的に注入したキャリア(電子)の有無に応じた電位パターンを形成する。

【0383】この実施例では、ヘテロ界面の数は実施例11と比較して1.5倍になっているため、その結果として、界面に存在し得るキャリアトラップの濃度も大きくなる。

【0384】またこの実施例では、SiO<sub>2</sub>膜とSiN膜のヘテロ界面付近のキャリアトラップに導電性カンチレバーより電子を局所的に注入または放出することによって局所的に電荷量の差を生じさせ、電荷量の差の検出を表面電位Vsの分布の検出によって行う。

【0385】次に、この実施例15における3値情報の記録消去再生特性を示す。

【0386】まず、SiO<sub>2</sub>/SiN/SiO<sub>2</sub>/SiN/SiO<sub>2</sub>/Si構成の記録媒体に、-9Vまたは9Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、局所的に電子を界面トラップに注入または放出して形成した3値情報は以下の表面電位に分割して検出再生する。

【0387】情報"0"として表面電位 -70mV~-30mV

情報"1"として表面電位 -15mV~+15mV

情報"2"として表面電位 +30mV~+70mV

次に、上述の図3の通常のSMM型の再生装置RSSM、および図4のヘテロダイン検出SMM型の再生装置RSSMHを用いて、記録媒体の局所的な注入または放出電荷量の差を表面電位Vsの分布として検出する。通

常のSMM再生法およびヘテロダインSMM再生法によって3μm×3μmのエリアを評価した結果、表面形状は、パルス電圧を印加する直後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0388】ヘテロダインSMM像では3μm×3μmの部分でキャリアの注入または放出させた部分の表面電位のコントラストは周辺と比較して変化した。これは-9Vまたは9Vのパルス電圧印加によって電子が導電性カンチレバーより界面付近のトラップに局所的に注入または放出され、その結果として表面電位の値が周囲と比較して増加または減少していること、すなわち、記録ビットが形成されていることを示した。

【0389】また、ヘテロダインSMMのスキャンエリアをさらに小さくして、例えば1.5μm×1.5μmとして、同様な実験を試みた場合も、電子のキャリア注入または放出により電荷量、その結果として表面電位が増大または減少している記録ビットが検出再生された。

【0390】以上より微細な記録ビットをヘテロダイン検出SMM再生法によって検出可能であることが分かった。SMM電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号"0"、"1"および"2"のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0391】このことから、この実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入または放出量がカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により制御できることがことが示された。

【0392】この2種類の局所的な電荷の有無をデジタルデータのストレージの"0"、"1"と"2"に対応させることができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分と周辺部分でデジタルデータの"0"、"1"と"2"に対応させることにより高密度記録ができることが分かった。

【0393】また種々の実験の結果、最小記録領域の直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入の記録消去時間も1μsより小さくすることが可能であることが分かった。

【0394】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが確認された。

【0395】尚、この実施例では、SiO<sub>2</sub>/SiNヘテロ界面が3種類形成されている場合について示したが、ヘテロ界面が1種類の場合、すなわち、SiN/SiO<sub>2</sub>/Si構成による記録媒体の場合も3値記録の記録、再生、消去ができることを確認した。

【0396】また、本実施例では並列度10の記録/再生マルチヘッドを用いた記録再生装置について示したが、記録再生マルチヘッドを用いた3値の記録装置または再生装置としても本発明は適用可能である。

【0397】〔実施例16〕この実施例では並列度10の記録/再生マルチヘッドを用いた3値記録で、蓄積キ



キャリアをSi基体側から電荷蓄積記録のキャリアトラップに注入または放出する方式での3値情報の記録再生を行った場合である。

【0398】この実施例で用いた記録媒体は、図7(a)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜14(厚さ2.5nm)、SiN膜15(厚さ10nm)およびSiO<sub>2</sub>膜16の構成によるものの、膜厚および作製法がこれまでの実施例とは異なっている。

【0399】この実施例で用いた記録媒体においては、そのSiO<sub>2</sub>膜16を熱CVD法によって形成し、その膜厚を5nmとした。すなわち、SiO<sub>2</sub>膜14を薄くし、SiO<sub>2</sub>膜16を厚くすることによりSi基板側よりキャリアを注入している。

【0400】そして、その記録、消去、および再生方法も実施例11と同様の方法によった。

【0401】この場合の3値記録での電位分布の分割は次の通りである。

【0402】情報"0"として表面電位 -70mV〜-30mV

情報"1"として表面電位 -15mV〜+15mV

情報"2"として表面電位 +30mV〜+70mV

10個並列しているうちの任意の記録ヘッドを用いて、記録ヘッドにパルス電圧を印加することにより、Si基体側から電荷蓄積記録の電子をキャリアトラップに注入、放出することができ、その結果として、実施例11と同様に、3値記録での記録ビットの記録再生消去が可能であることが分かった。

【0403】記録ビットの記録再生特性については本実施例も実施例11と同等の特性が得られた。また、この実施例では、再生にヘテロダイン検出方式のSMM再生法を用いているため、記録ビットの高周波領域での高速な再生が可能になった。

【0404】また、本実施例では記録再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、3値情報の記録再生装置および再生装置としても適用することは可能である。また、並列度10以上の並列多値記録再生装置としても適用可能である。

【0405】〔実施例17〕この実施例では記録媒体として、実施例11と同様の記録媒体を用い、図2および図4で説明した記録および消去ヘッドHRと、再生ヘッドHPをそれぞれ別構成として、並列度10の記録再生マルチヘッドを用いた3値記録を行った例を示す。

【0406】すなわち、各ヘッドHRとHPのカンチレバーを独別に構成し、記録媒体10に対して接触状態で用いられる記録および消去ヘッドの針状電極に関しては、その磨耗を考慮して表面に形成される導電層を比較的厚く形成した。例えばその先端の曲率半径が50〜100nmとするが、非接触状態で用いられる再生ヘッドHPに関してはその磨耗を考慮する必要がないことから、表面導電層は薄く形成して、その針状電極の先端の

曲率半径は記録および消去ヘッドHRのそれより小さい30nm以下でその共振周波数を5MHzとした。

【0407】このように再生ヘッドの針状電極の先端の曲率半径小さくすることによって、再生時の表面電位の空間分解能の解像度を上げることができることから、その最小記録領域の大きさを直径約60nm以下にまで小さくすることができた。

【0408】また、局所的に電荷が注入された領域は、充分安定に保持できた。また、ヘテロダイン検出方式のSMMを用いることにより、記録ビットの高周波数領域での再生ができた。

【0409】このように、この実施例においても、高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが確認された。

【0410】また、この実施例では、図7(a)で示した記録媒体を用いたが、他の構成、例えば図19で示した構成による電荷蓄積層を有する記録媒体を用いた場合であっても本発明の本質が変わらないことは言うまでもない。

【0411】さらに、本実施例では並列度10のマルチ記録再生ヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明を並列度が10以上の記録/再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録装置または再生装置として適用することが可能であることは言うまでもない。

【0412】〔実施例18〕並列度10のマルチ記録/再生ヘッドを、針状電極を有するカンチレバー記録ヘッドと記録媒体の基体との間に電圧パルスを印加し、電子を電荷蓄積層のトラップへ注入することによる3値記録状態とする場合である。

【0413】この場合の記録媒体80は、図13にその概略断面図を示すように、Si基体上81に、その表面熱酸化による下層絶縁層としての厚さ3nmのSiO<sub>2</sub>膜84を形成した後、プラズマCVD法によりSiナノ結晶85cを形成し、これの上に、Si結晶85cを埋込む絶縁膜85iを形成して、この絶縁膜85i中にナノ結晶85cが埋込まれて成るナノ結晶層85を形成し、続いてこれの上に、LPCVD法により上層絶縁膜として厚さ5nmのSiO<sub>2</sub>膜86を形成して成る。

【0414】この記録媒体にSiナノ結晶層85を有する電荷蓄積層に対する記録は、前述した図2の記録ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体を、移動載置台30上に配置し、記録媒体の表面SiO<sub>2</sub>層86に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバー21よりSiナノ結晶層を有する電荷蓄積層のキャリアトラップに電子を局所的に注入して情報の記録を行う。すなわち、キャリアトラップに局所的に注入したキャリア(電子)有無の記録情報に応じた電位パターン



を形成する。

【0415】この記録媒体からの記録情報の読み出しすなわち再生は、本実施例では $\text{SiO}_2$ 膜84をトンネルして主として $\text{Si}$ ナノ結晶層85のトラップに電子を局所的に注入することによって局所的に電荷量の差が生じさせ、電荷量の差の検出を表面電位 $V_s$ の分布の検出によって行う。

【0416】次に、この実施例18における記録消去再生特性を示す。

【0417】まず、記録媒体の $\text{SiO}_2$  /  $\text{Si}$ 結晶層 /  $\text{SiO}_2$  /  $\text{Si}$ 基体に5Vのパルス電圧をヘッドすなわち針状電極21から印加して、電子を主として $\text{Si}$ ナノ結晶層に存在する局所的なトラップに注入する。

【0418】次に、図3のSMM再生装置を用いて、記録媒体の局所的な注入電荷量の差を静電容量表面電位 $V_s$ の分布として検出SMMによって $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ のエリアを評価した結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0419】SMM像では $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ の部分でキャリアの注入させた部分のコントラストは周辺と比較して暗くなっており。これは5Vのパルス電圧によって電子が $\text{Si}$ 基体側よりトラップに局所的に注入され、負の電荷量が周辺と比較して増加していることを示している。

【0420】以上より微細な記録ビットSMM再生法によって検出可能であることが分かった。注入電荷量の差は電位差では約40mVであり、SMM電位分解能が1mVであることから、例えばデジタル信号"0"および、"1"のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0421】また、-5Vのパルス電圧を記録メディアにかけた場合、すなわち、上述のキャリアの注入、すなわち記録は反対の極性の電圧を印加した場合、SMMの電位分布で観察される画像のコントラストも逆転していることが分かった。すなわち、記録媒体のトラップに注入されるキャリアの量が反対になっていることが分かる。

【0422】このことから、本実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入量がカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により制御できることが示された。

【0423】この最高の表面電位、中間電位と周辺の電位、または電子の注入と放出の各々の表面電位と周辺の電位を3種類の局所的な記録ビットをデジタルデータのストレージの"0"、"1"および"2"に対応させることができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分と周辺部分でデジタルデータの"0"、"1"および"2"に対応させることにより3値情報を同一の記録ビットに記録する高密度多値記録ができることが分かった。

【0424】また、種々の実験の結果、最小記録領域の

直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入のスイッチング時間も1 $\mu\text{s}$ より小さいことが分かった。

【0425】また、図4に示したヘテロダイン検出SMM法を用いることにより、10MHz以上の高周波数領域での記録ビット信号の検出再生を行うことができた。

【0426】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。上述したように、本実施例では高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0427】〔実施例19〕この実施例では、記録媒体がいわゆるディスク形状をなしている場合で、これを回転させて並列度10の記録再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生を行った。ヘッドは、実施例15で確認した2種類の記録および再生用ヘッドを用いた。また、記録媒体の構造は、実施例11と同様の記録媒体を用いた。

【0428】この場合の3値情報の記録再生特性は、実施例11と同様に確認することができた。また、記録媒体と非接触状態で情報の再生を行っているため、記録媒体が高速回転している場合でも、ヘッドと記録媒体間の摩擦磨耗による影響を最小限に抑止することができた。また、ヘテロダイン検出方式のSMMを用いることにより、記録ビットの高周波数領域での再生ができた。

【0429】また、種々の実験の結果、この場合においても最小記録ビット直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。記録の消去時間は1 $\mu\text{s}$ より小さくすることができた。また、局所的に電荷が注入された領域は充分安定に保持された。

【0430】以上より、本実施例で並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが確認された。この実施例においても、図7(a)で示した構成による記録媒体を用いたが、他の構成、例えば図19、図13に示した構成による電荷蓄積層を有する記録媒体を用いた場合であっても本発明の本質が変わらないことが言うまでもない。

【0431】さらに、本実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明を並列度が10以上の記録／再生マルチヘッドを用いた3値の記録装置または再生装置として適用することが可能であることは言うまでもない。

【0432】〔実施例20〕この実施例においては、実施例11と同様の構成による記録媒体を用い、実施例11と同様の記録マルチヘッド記録装置によって3値記録を行った場合である。しかしながら、この実施例20においては、その記録情報の再生を、図5で説明したKFMで検出再生した場合である。

【0433】この実施例における記録消去再生特性を説明する。

【0434】まず、記録媒体10に、-9Vまたは+9

Vのパルス電圧を、針状電極を含むヘッドHRの針状電極21から、これに近接した場所に印加して、電子を界面付近のトラップに局所的に注入または放出する。

【0435】9V、4msのパルス電圧を印加した場合の記録ビットパターンを、KMFで検出再生した場合の表面電位像を示した。図14～図16で示したSMM再生法の場合と同様に、周囲と比較して表面電位が増大している部分を情報“2”と、周囲と同一の表面電位の部分を情報の“1”に対応させることができることが分かった。また、-9V、4msのパルス電圧を印加することにより、周囲と比較して表面電位が減少している部分が生じ、この表面電位が情報“0”に対応させることができる。このことより、3値情報の記録、再生ができることが分かった。

【0436】次に、KFM再生装置を用いて、上述の記録媒体に対する記録、すなわち局所的な注入電荷量の差を静電容量表面電位 $V_s$ の分布として検出した。この場合、共振周波数5MHzのカンチレバーを用い、5MHzの高周波数領域で静電容量表面電位分布を評価した。

【0437】その結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0438】KFM像において電子が注入または放出された部分にコントラストが生じ、記録ビットが再生されたことを確認した。その表面電位は周辺と比較して増大または減少していることが分かり、パルス電圧の極性によって記録ビットの極性が対応することが分かった。この2種類の極性の表面電位と3値の情報の記録再生が可能なことが分かった。

【0439】また、共振周波数を5MHzカンチレバーの再生ヘッドを用いたKFM再生法を用いることにより、5MHzでの高周波数領域でも5-10kHzと同様な表面電位分布が得られていることが分かった。また、共振周波数が10MHz以上で充分バネ定数の小さいカンチレバーを作製することは可能であり、その結果として10MHz以上の高周波数領域においても記録ビットの検出再生ができることを示すものである。

【0440】キャリアの注入電荷量の差は電位差で約70mVであり、KFM電位分解能が3mVであることから、例えばデジタル信号“0”、“1”および“2”のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0441】このことから、この実施例の記録媒体の局所的な電荷注入量がカンチレバー記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により制御できることが示された。

【0442】この2種類の局所的な電荷に起因した表面電位の値をデジタルデータのストレージの“0”、“1”と“2”に対応させることができることが分かった。

【0443】種々の実験の結果、最小記録の直径を10

0nm以下にすることができたことが分かった。また、キャリア注入の記録、消去時間も1μsより小さくすることができたことが分かった。

【0444】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。

【0445】上述したように、この実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値記録の高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0446】本実施例では並列度10の記録／再生記録マルチヘッドを用いた3値情報の記録、再生装置について示したが、本発明を3値情報の記録装置または再生装置に適用することは可能である。また、並列度を10以上に大きくした場合の多値記録再生3値記録再生装置としても適用可能である。

【0447】〔実施例21〕本実施例では、実施例13と同様の記録／再生マルチヘッドを用いた記録ヘッド、記録媒体を用いて、5値情報の記録再生消去の検討結果を示した。図18に記録ビット最大表面電位のパルス電圧依存性を示した。この図より表面電位はパルス電圧が増大するにつれて単調に増大していることが分かる。また、上記傾向はパルス電圧の極性が反対の場合に依存せず、パルス電圧の極性が反対の場合も図18と同様な傾向を示すことがわかった。そこで、情報を以下に示す表面電位に分割して5値の記録再生を行った。

【0448】情報“0”として表面電位 -40mV以下  
情報“1”として表面電位 -35mV～-15mV  
情報“2”として表面電位 -10mV～+10mV  
情報“3”として表面電位 +15mV～+35mV  
情報“4”として表面電位 +40mV以上

データの書き込みはプラスマイナス10Vまたはプラスマイナス6Vの電圧パルスの印加で行い、多値記録が可能な表面電位の値を制御した。

【0449】再生はKFMの表面電位分布の表面電位差として、局所的な電荷トラップ領域に記録させた情報を読み出した。

【0450】SiO<sub>2</sub>/SiN界面付近のトラップに存在する電荷の状態を表面電位としてパルス印加電圧により制御し、デジタルデータの“0”、“1”、“2”、“3”および“4”に対応する表面電位が得られることが分かった。ビット情報間の電位差は、KFMの検出感度3Vに対して充分とれることが分かった。

【0451】以上より、表面電位の極性と大きさをパルス電圧の極性と電圧の大きさで制御して、5値の情報の記録再生消去を実現した。

【0452】また、先端直径の鋭い針状電極を含むヘッドを用いることにより、記録ビットの直径も100nm以下になることが分かった。

【0453】また、局所的に電荷が注入または放出された記録ビット領域は充分安定に保持されることが分かっ

た。

【0454】以上より、この実施例において並列度10の記録／再生ヘッドを用いた5値記録の高密度記録再生装置として十分な機能を持っていることが分かった。

【0455】本実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた5値情報の記録、再生について示したが、本発明が5値情報の記録装置または再生装置としても適用可能なことは言うまでもない。また、並列度を10以上にした多重記録／再生装置としても適用可能である。

【0456】〔実施例22〕この実施例における記録および記録媒体は、実施例16と同様の記録方法および記録媒体を用いて行った。すなわち、この実施例においても、図19で説明した記録媒体10Bを用い、そのキャリアトラップへの針状電極を含む記録再生マルチ記録ヘッドから電子の注入によって3値記録を行った場合である。

【0457】この実施例においても、ヘテロ界面の数が1.5倍になっているため、その結果として、界面に存在し得るキャリアトラップの濃度も大となる。

【0458】そして、この実施例においては、図5で説明した通常のKFM再生装置を用いて記録媒体の電荷蓄積層における局所的な注入または放出電荷量の差を表面電位 $V_s$ の分布として検出する。

【0459】この実施例における記録消去再生特性を示す。

【0460】まず、記録媒体に、 $-9V$ または $9V$ のパルス電圧を、針状電極を含むヘッドHRの針状電極21から、これに近接した場所に印加して、局所的に電子を界面トラップに注入または放出する。

【0461】3値情報は、以下の表面電位に分割して記録、再生は、

情報"0"として表面電位  $-70mV \sim -30mV$

情報"1"として表面電位  $-15mV \sim +15mV$

情報"2"として表面電位  $+30mV \sim +70mV$

次に、通常のKFMによって $3\mu m \times 3\mu m$ のエリアを評価した結果、表面形状は、パルス電圧を印加する直後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0462】KFM像では $3\mu m \times 3\mu m$ の部分でキャリアの注入または放出させた部分の表面電位のコントラストは周辺と比較して低下した。これは $-9V$ または $9V$ のパルス電圧印加によって電子が導電性カンチレバーよりヘテロ界面付近のトラップに局所的に注入または放出され、その結果として表面電位の値が周囲と比較して増加または減少していること、すなわち、記録ビットが形成されていることを示した。

【0463】また、KFMのスキャンエリアをさらに小さくして、例えば $1.5\mu m \times 1.5\mu m$ として、同様

な実験を試みた場合も、電子のキャリア注入または放出により電荷量が増大または減少している記録ビットが検出された。

【0464】以上より微細な記録ビットをKFM再生法によって検出可能であることが分かった。KFMの電位分解能が $3mV$ であることから、例えばデジタル信号"0"、"1"および"2"のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0465】このことから、この実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入または放出量がマルチヘッドよりのバイアス電圧印加により制御できることが示された。

【0466】この2種類の局所的な電荷の有無をデジタルデータのストレージの"0"、"1"と"2"に対応させることができる。すなわち、周辺部と比較して表面電位の低い部分と高い部分と周辺の部分でデジタルデータの"0"、"1"と"2"に対応させることにより3値情報の高密度記録ができることが分かった。

【0467】種々の実験の結果、最小記録領域の直径を $100nm$ 以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入の記録、消去時間も $1\mu s$ より小さいことが分かった。

【0468】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。上述したように、この実施例12では高密度記録再生装置として十分な機能を持っていることが分かった。

【0469】尚、この実施例では、 $SiN/SiO_2$ ヘテロ界面が3種類形成されている場合について示したが、ヘテロ界面が1種類の場合、すなわち、 $SiN/SiO_2/Si$ 構成による記録媒体の場合も、3値記録の記録、再生、消去ができることを確認した。

【0470】さらに、本実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明を3値情報の記録装置または再生装置として適用することが可能であることは言うまでもない。

【0471】〔実施例23〕この実施例では、実施例17におけると同様に、蓄積キャリアをSi基体側から電荷蓄積記録のキャリアトラップに注入する方式での3値情報の記録再生を行った場合である。

【0472】この実施例で用いた記録媒体は、実施例11におけると同様に、図7(a)に示すように、 $SiO_2$ 膜14( $3nm$ )、 $SiN$ 膜15( $10nm$ )および $SiO_2$ 膜16の構成によるものの、この実施例で用いた記録媒体においては、その $SiO_2$ 膜16を熱CVD法によって形成し、その膜厚を $5nm$ とした。そして、その記録、消去、および再生方法は、実施例17と同様の方法によった。

【0473】この場合の3値記録での表面電位分布の分割は次の通りである。

【0474】情報“0”として表面電位  $-70\text{mV} \sim -30\text{mV}$

情報“1”として表面電位  $-15\text{mV} \sim +15\text{mV}$

情報“2”として表面電位  $+30\text{mV} \sim +70\text{mV}$

実施例11および17と同様に、記録マルチヘッドにパルス電圧を印加することにより、Si基体側から電荷蓄積記録の電子を注入、放出することができ、その結果として、3値記録での記録ビットの記録再生消去が可能であることが分かった。

【0475】この実施例における記録再生特性は、実施例11および17と同等の特性が得られた。また、この実施例では、再生に共振周波数5MHzのカンチレバーを用いたKFM再生装置を用いたことにより、記録ビット5MHzまでの高周波領域での高速な再生が可能になった。

【0476】さらに、本実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明を3値情報の記録再生装置または再生装置として適用することも可能であることは言うまでもない。

【0477】また、並列度を10以上とした多重記録／再生マルチヘッドを用いた多重記録／再生3値記録再生装置に適用可能である。

【0478】〔実施例24〕この実施例では、蓄積キャリアをSi基体側から電荷蓄積層のキャリアトラップに注入する方法をとった場合で、その3値情報の記録再生の結果を示す。この実施例では並列度10の記録マルチヘッドを用いた3値情報の再生にSCMを用いた静電容量の変化量を記録に対して接触した状態で検出再生している。

【0479】この実施例で用いた記録媒体は、図7(a)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜14(3nm)、SiN膜15(10nm)および $\text{SiO}_2$ 膜16の構成によるものの、この実施例で用いた記録媒体においては、その $\text{SiO}_2$ 膜16を熱CVD法によって形成し、その膜厚を5nmとした。

【0480】3値記録での静電容量の分布を表面電位分布で表し電位分布の分割は以下に示す通りである。

【0481】情報“0”として表面電位  $-70\text{mV} \sim -30\text{mV}$

情報“1”として表面電位  $-15\text{mV} \sim +15\text{mV}$

情報“2”として表面電位  $+30\text{mV} \sim +70\text{mV}$

記録ヘッドにパルス電圧を印加することにより、Si基体側から電荷蓄積記録の電子を注入、放出することができ、その結果として、3値記録での記録ビットの記録再生消去が可能であることが分かった。

【0482】記録ビットの記録再生特性についてはこの実施例も実施例7と同等の特性が得られた。記録再生ヘッドとして用いたカンチレバーはヘッドと記録媒体との間の浮遊容量を低減するような設計がなされている。

【0483】また、この実施例では、再生にSCM再生技術を用いているため、記録ビット10MHz以上の高周波領域での高速な再生が可能になった。

【0484】また、本実施例では並列度10の記録マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明は記録マルチヘッドを用いた3値情報の記録装置または再生装置として適用可能なことは言うまでもない。

【0485】〔実施例25〕この実施例における記録媒体は、記録ヘッドと記録媒体に電圧パルスを印加することにより、電子を記録媒体の電荷蓄積層のトラップへ局所的に注入または放出することによる並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値記録態様をとった場合である。

【0486】この場合の記録媒体は、図13に示した。

【0487】この電荷蓄積層を有する記録媒体に対する記録は、記録マルチヘッドの中の任意の単一ヘッドHRによって行う。すなわち、記録媒体を、移動載置台30上に配置し、記録媒体の表面 $\text{SiO}_2$ 層86に、針状電極21を、いわば微小面接触させて、載置台30を移動させて記録媒体上に針状電極21を走査しつつ記録情報に基づいてパルス電圧を印加して、導電性カンチレバーよりSiナノ結晶層付近に存在するキャリアトラップに電子を局所的に注入して情報の記録を行う。すなわち、キャリアトラップに局所的に注入したキャリア(電子)有無の記録情報に応じた電位パターンを形成する。

【0488】この記録媒体からの記録情報の読み出しすなわち再生は、本実施例では主としてSiナノ結晶のキャリアトラップにSi基体より電子を局所的に注入することによって局所的に電荷量の差を生じさせ、電荷量の差の検出を表面電位Vsの分布の検出によって行う。

【0489】次に、この実施例25における記録消去再生特性を示す。

【0490】まず、記録媒体の $\text{SiO}_2$  / Siナノ結晶層 /  $\text{SiO}_2$  / Siナノ結晶層 /  $\text{SiO}_2$  膜 / Si基体(以下材料2という)に5Vのパルス電圧を針状電極21から印加して、局所的に電子を界面トラップに注入する。次に、図5のKFM再生装置を用いて、記録媒体の局所的な注入電荷量の差を表面電位Vsの分布として検出する。KFMによって $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ のエリアを評価した結果、表面形状は、パルス電圧を印加する前後で変化は観察されず、パルス電圧を印加することによって記録媒体の表面が変質することなく良好に保持されていることが分かった。

【0491】KFM像では $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ の部分でキャリアの注入させた部分の表面電位は周辺部と比較して低くなっており、電子注入により記録ビットが形成されることが分かった。

【0492】また、KFMのスキャンエリアをさらに小さくして、例えば $1.5\mu\text{m} \times 1.5\mu\text{m}$ として、同様

のキャリア注入を試みた場合も、キャリア（電子）の注入により表面電位が周辺と比較して減少している記録ビットが検出再生された。

【0493】以上より微細な記録ビットをKFMによって検出可能であることが分かった。

【0494】注入電荷量の周辺電位との差は電位差では約40mVであり、KFM電位分解能が3mVであることから、中間電位と周辺電位を考慮すると、例えばデジタル信号“0”、“1”および“2”のデータの識別を充分行うことができる値であることが分かった。

【0495】また、-5Vのパルス電圧を記録媒体にかけた場合、すなわち、上述のキャリアの注入（記録）とは反対の極性の電圧を印加した場合、KFMの電位分布で観察される画像のコントラストも逆転していることが分かった。すなわち、記録媒体のトラップに注入されるキャリアの量が反対になっていることが分かる。

【0496】このことから、本実施例の記録媒体の局所的な電荷の注入量が記録再生マルチヘッドの中の任意の記録ヘッドよりのバイアス電圧印加により制御可能なことが示された。

【0497】この最高の表面電位、中間電位と周辺の電位、または電子の注入と放出に対応する各々の電位と周辺電位を3種類の表面電位を有する局所的な記録ビットをデジタルデータのストレージの“0”、“1”とおよび“2”に対応させることができる。すなわち、コントラストの明るい部分と暗い部分と周辺部分でデジタルデータの“0”、“1”および“2”に対応させることにより3値情報を同一の記録ビットに記録する高密度多値記録が可能であることが分かった。

【0498】種々の実験の結果、最小記録領域の直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。また、キャリア注入のスイッチング時間も1μsより小さいことが分かった。

【0499】また、記録ヘッドの共振周波数が充分大きく（10MHzオーダ）、バネ定数が充分小さく（約1N/m）することにより、記録ビットの5MHz帯での高速な再生が可能になった。

【0500】そして、局所的にキャリアを注入した領域は、充分安定に保持されることが分かった。上述したように、この実施例25では高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが分かった。

【0501】本実施例では記録媒体の電荷蓄積層が、ナノ結晶層である場合に対して説明を行ったが、他の電荷蓄積層による記録媒体に適用しても本発明の本質が変わらないことは言うまでもない。

【0502】また、本実施例では並列度10の記録マルチヘッドを用いた3値情報の記録、再生装置について示したが、本発明は記録マルチヘッドを用いた3値情報の記録装置または再生装置として適用可能なことは言うまでもない。

【0503】〔実施例26〕この実施例では記録媒体として、実施例11および17と同様の記録媒体を用い、図2および図5で説明した記録および消去ヘッドHRと、再生ヘッドHPをそれぞれ別構成として、並列度10の記録再生マルチヘッドを用いた3値記録を行った。

【0504】すなわち、各ヘッドHRとHPのカンチレバーを独別に構成し、記録媒体10に対して接触状態で用いられる記録および消去ヘッドHRの針状電極に関しては、その磨耗を考慮して表面に形成される導電層を比較的厚く形成した例えばその先端の曲率半径が50~100nmとするが、非接触状態で用いられる再生ヘッドHPに関してはその磨耗を考慮する必要がないことから、表面導電層は薄く形成して、その針状電極の先端の曲率半径は記録および消去ヘッドHRのそれより小さい30nm以下でその共振周波数を5MHzとした。

【0505】このように再生ヘッドの針状電極の先端の曲率半径を小さくすることによって、再生時の記録ビットの空間分解能の解像度を上げることができることから、その最小記録領域の大きさを直径約60nm以下にまで小さくすることができた。

【0506】また、局所的に電荷が注入された領域は、充分安定に保持できた。また、共振周波数を5MHzの再生ヘッドを用いたKFM再生を用いることにより、記録ビットの5MHzまでの高周波数領域での再生が可能になった。

【0507】上述したように、この実施例で、高密度記録再生装置として充分な機能を持っていることが確認された。

【0508】また、この実施例では電荷蓄積材料による記録媒体を用いたが、他の実施例で示した電荷蓄積材料を記録媒体に適用した場合であっても本発明の本質が変わらないことは言うまでもない。

【0509】また、本実施例では並列度10のマルチ記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明は3値情報の記録装置または再生装置としても適用可能である。

【0510】〔実施例27〕この実施例ではディスク形状をしている記録媒体を回転させて並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生を行った。

【0511】記録再生マルチヘッドは実施例20で確認した2種類の記録および再生用マルチヘッドを用いた。また、記録媒体は実施例21で用いた記録媒体を用いた。

【0512】この場合の3値情報の記録再生特性は、実施例17と同様に確認することができた。また、記録媒体と非接触状態で情報の再生を行っているため、記録媒体が高速回転している場合でも、ヘッドと記録媒体間の摩擦磨耗による影響を最小限に抑止することができた。また、共振周波数が5MHzより大きいカンチレバーを

用いたKFM再生技術を用いることにより、記録ビットの高周波領域での再生が可能になった。

【0513】種々の実験の結果、この場合においても最小記録ビット直径を100nm以下にすることが可能であることが分かった。記録消去時間は1 $\mu$ sより小さくすることができた。また、局所的電荷が注入された領域は、充分安定に保持された。

【0514】以上より、この実施例で高密度記録再生装置として十分な機能を持っていることが確認された。この実施例では記録媒体として電荷蓄積材料1に対して説明を行ったが、他の電荷蓄積材料を記録媒体に適用しても本発明の本質が変わらないことは言うまでもない。また、本実施例では並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた3値情報の記録再生装置について示したが、本発明は3値情報の記録装置または再生装置としても適用可能である。

【0515】以上、これまでに並列度10の記録／再生マルチヘッドを用いた、多値記録再生高密度記録再生装置について述べてきたが、並列度は1000から10000まですることができ、この場合でもこれまで、述べてきた高密度記録再生が可能であることは言うまでもない。

【0516】以上、種々の実施例によって、本発明の有効性を示したが、全ての実施例において、記録再生媒体の最上部にダイヤモンドライクカーボン等の保護層を付加した場合、記録再生装置および記録媒体の信頼性が向上した。

【0517】尚、上述した各実施例で用いた記録媒体においては、基体11がSi基体、すなわち半導体基体によって構成され、その裏面に下部電極12がオーミックに被着された構成とした場合であるが、例えば実施例13におけるように、キャリアトラップに対して、記録ヘッド側からキャリア（電子）の注入を行う記録態様をとる場合には、基体11は半導体基体である必要はなく、表面が平滑な導電体例えば金属または導電性高分子基体によって構成することもできる。そして、このように基体11が高導電率を有する半導体基体あるいは金属基体または導電性高分子基体等によって構成する場合は、下部電極12が形成されない構成とすることができる。

【0518】上述したように本発明装置によれば、多値記録による記録密度の向上、高周波数領域での記録再生が図られた。この本発明による高密度記録再生装置は、従来に比較して実効的に1桁以上大きな記録密度を実現できるものである。

【0519】尚、上述したように本発明装置においては記録、再生ヘッドが針状電極を有する構成とするものであるが、この針状電極の機械的強度を補強するなどの目的で針状電極の周囲に絶縁体を配するなど上述の各実施例に限られず、種々の変更を行うことができる。

【0520】また、本発明による記録再生装置は記録／

再生マルチヘッドを用いた多値情報の記録および再生の双方の機能を有する構成とすることもできるし、記録機能がなく、上述の記録方法で記録されている多値情報を再生する機能を有する構成とすることもできる。

【0521】以上、種々の実施例によって、本発明の有効性を示したが、各実施例においては、主として10個の記録ヘッド、または再生ヘッドを用いた多値高密度記録についての実施例であった。しかしながら、記録または再生ヘッドの数を10以上の複数にした集積マルチヘッド（例えば並列度10000）を用いた同時並列記録、または並列再生、または並列記録再生を行う場合であっても、一つの記録ビットに3値以上の情報を記録する多値高密度記録に本発明を適用できることは言うまでもない。

【0522】また、多値記録においても、多重度10以上の超多値記録への適用も可能である。

【0523】〔応用例〕上記の記録再生装置は、例えばコンピュータシステムのデータ入出力方式において、中央処理装置CPUの外部記憶装置として利用することができる。

【0524】図20は、本発明の記録再生装置（以下、SPMと略称する。）を組み込んだ基本的なデータ入出力方式を示すもので、SPMは磁気ディスクの代わりに外部記憶装置として用いられている。

【0525】このデータ入出力方式においては、中央処理装置（CPU）91におけるアプリケーションプログラム92がSPM93からデータの出力を行う場合には、キャッシュメモリ94に対して読み出しを行い、データがキャッシュメモリ94上にないときにSPM93から必要なデータをキャッシュメモリ94上に読み出しして出力する。

【0526】一方、中央処理装置91におけるアプリケーションプログラム92からSPM93に対してデータの入力を行う場合には、キャッシュメモリ94に対してデータの書き込みを行い、キャッシュメモリ94が一杯になったときにキャッシュメモリ94上に存続できなくなったデータをSPM93に書き込む。

【0527】SPM93は並列記録が可能であるため、キャッシュメモリ94に対して並列処理が可能であり、例えば磁気ディスク装置に比べて高速で読み出し、書き込みが可能である。

【0528】特に、キャッシュメモリ94をバッファ1、バッファ2、バッファ3・・・のようにSPM93の並列度に応じて分割し、SPM93の各ヘッドからの出力を同時に各バッファに出力、あるいは各バッファのデータをSPM93の各ヘッドで同時に記録するようにすれば、これまでの磁気ディスク装置を用いたシステムに比べて、遥かに高速なアクセスが可能となる。

【0529】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、極め



て優れた記録密度、高速な記録、再生が実現可能であり、従来技術と比較して格段に優れた高密度記録再生装置が実現される。

【0530】したがって、高度情報化社会に必要とされる大容量で高速なアクセスが可能な画像情報のストレージ、ハイビジョン放送などの画像の記録、及びコンピュータにおける大容量なデータの記録に有効な記録再生方法、記録再生装置となるものである。

【0531】また、特に、その再生においては、ヘッドを非接触状態で行うことから、ヘッドや記録媒体の損耗を回避することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】記録媒体の一構成例を示す概略断面図である。

【図2】記録消去機構の一例を示す模式図である。

【図3】SMM構成の再生装置の一例を示す模式図である。

【図4】SMM構成の再生装置の制御部の一例を示す模式図である。

【図5】KFM構成の再生装置の一例を示す模式図である。

【図6】SCM構成の再生装置の一例を示す模式図である。

【図7】記録媒体の他の例を示す概略断面図である。

【図8】一次元記録ビットパターンの表面電位像を示す模式図である。

【図9】二次元記録ビットパターンの表面電位像を示す模式図である。

【図10】強誘電体を記録層とする記録媒体の一例を示

す概略断面図である。

【図11】強誘電体を記録層とする記録媒体の電圧分極特性を示す特性図である。

【図12】強誘電体を記録層とする記録媒体の他の例を示す概略断面図である。

【図13】ナノ結晶層を有する記録媒体の一例を示す概略断面図である。

【図14】SMM再生による記録ビットパターンの表面電位像で表面電位増大時の状態を模式的に示す図である。

【図15】SMM再生による記録ビットパターンの表面電位像で表面電位減少時の状態を模式的に示す図である。

【図16】SMM再生で検出再生された一次元記録ビットパターンの表面電位像を示す模式図である。

【図17】SMM再生で検出再生された二次元記録ビットパターンの表面電位像を示す模式図である。

【図18】単一の記録再生ヘッドを用いた場合の表面電位のパルス電圧依存性を示す特性図である。

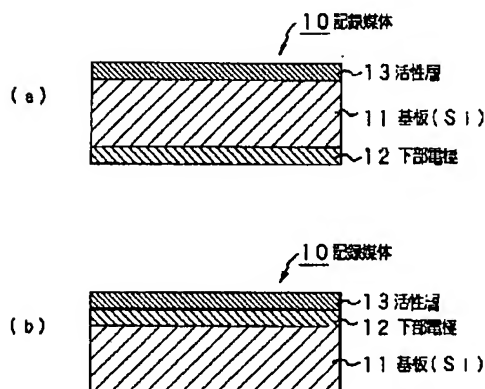
【図19】MNOS (Metal Nitride Oxide 半導体) 系の記録媒体の一例を示す概略断面図である。

【図20】本発明の記録再生装置を用いたデータ入出力システムの一構成例を示す図である。

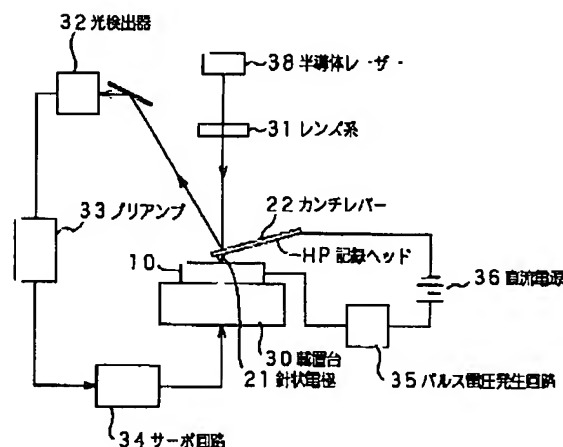
#### 【符号の説明】

HR 記録ヘッド、HP 再生ヘッド、10 記録媒体、21 針状電極、22 カンチレバー、32 光検出回路、35 パルス電圧発生回路、38 半導体レーザーダイオード

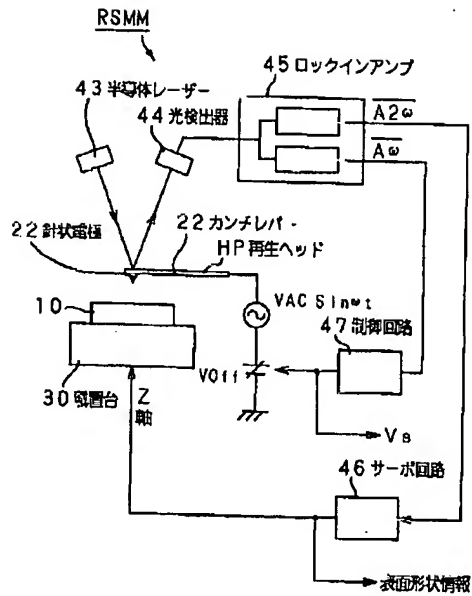
【図1】



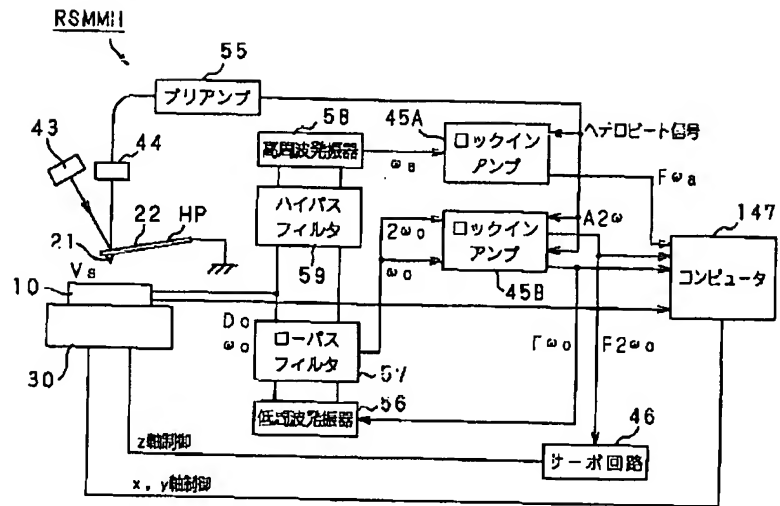
【図2】



【図3】

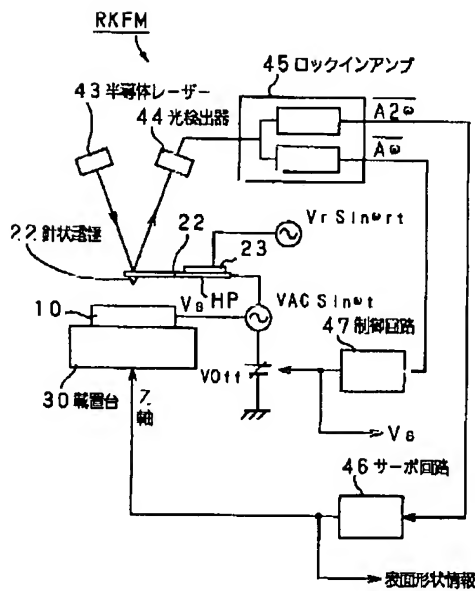


【図4】

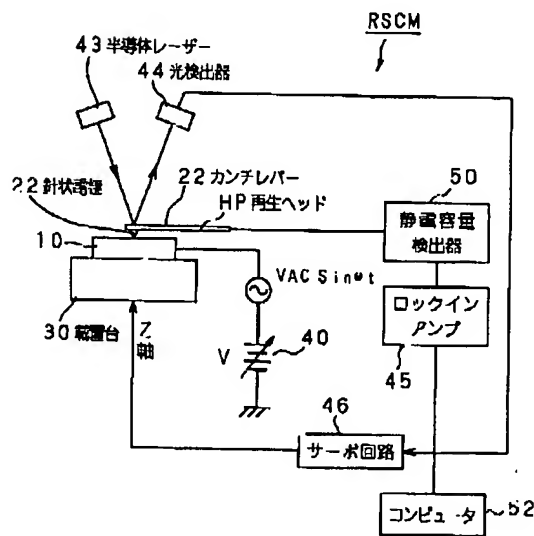
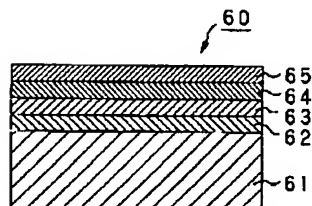


【図6】

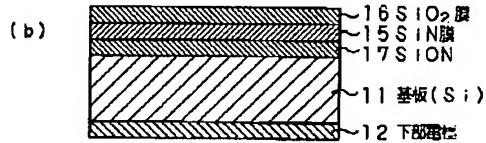
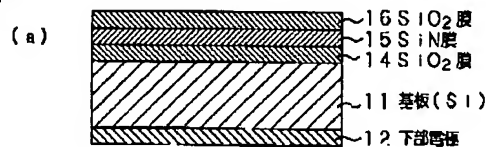
【図5】



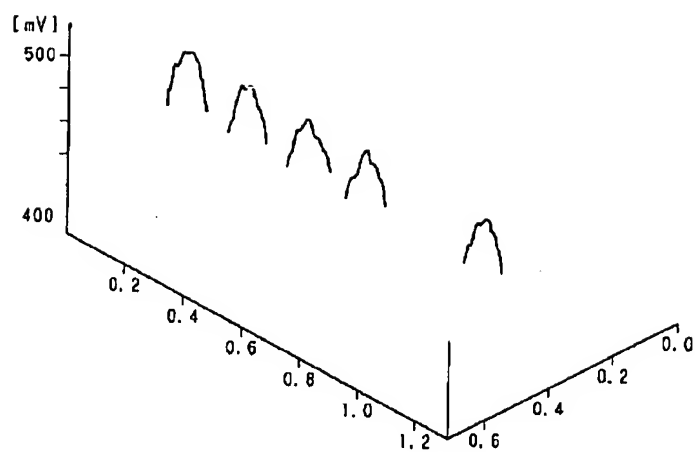
【図10】



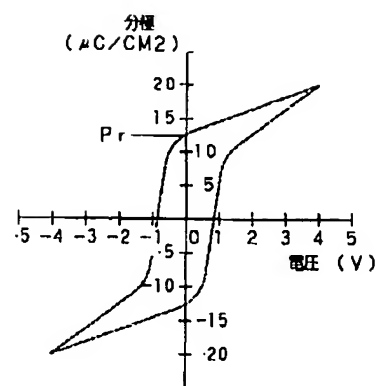
【図7】



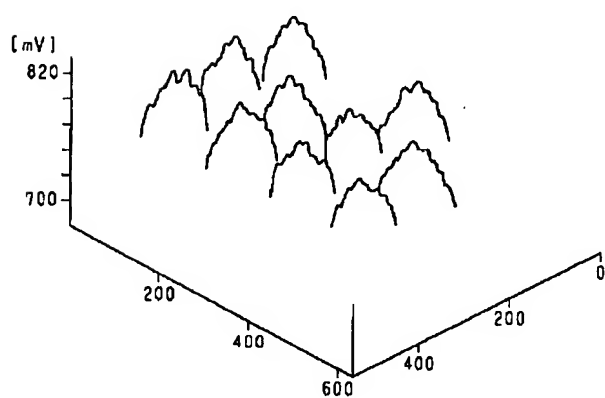
【図8】



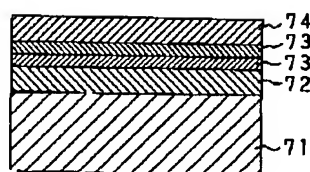
【図11】



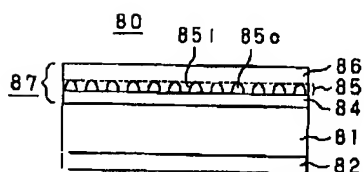
【図9】



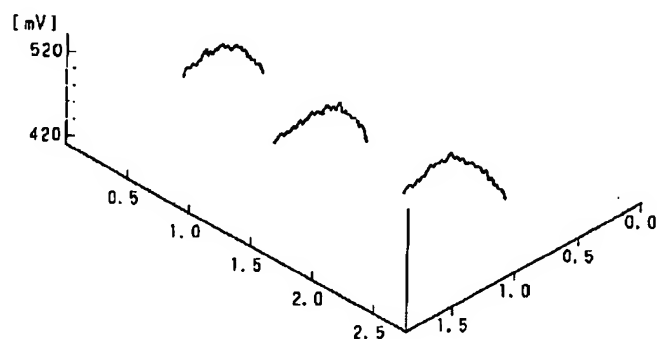
【図12】



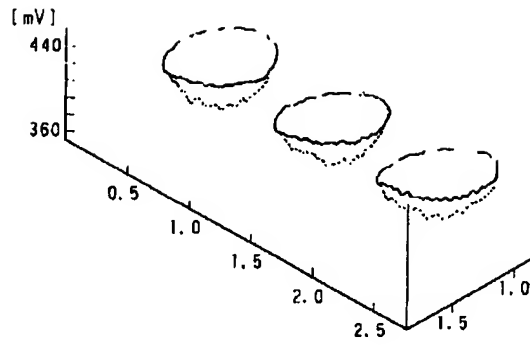
【図13】



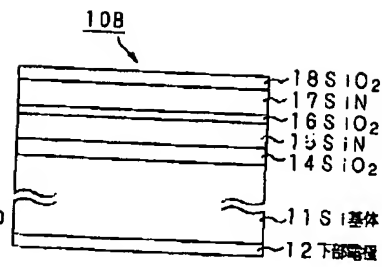
【図14】



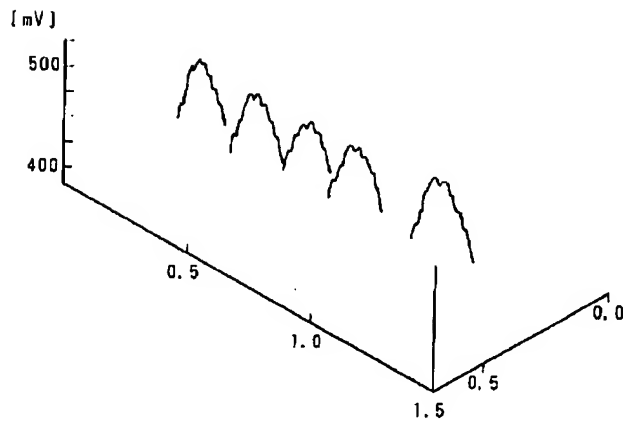
【図15】



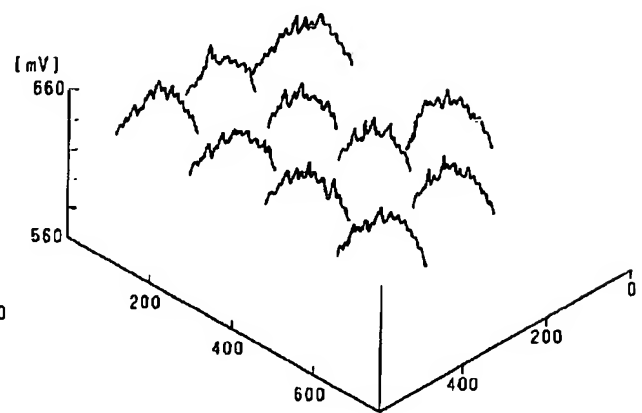
【図19】



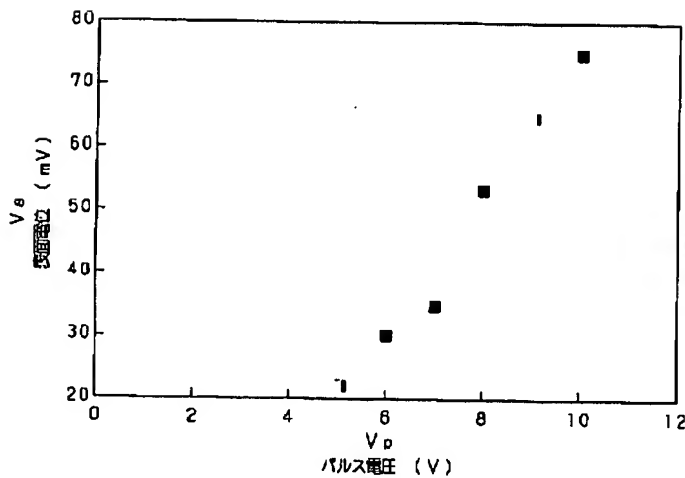
【図16】



【図17】



【図18】



【図20】

